

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

LABORATORIO DE SISTEMAS INTELIGENTES



DISEÑO MECÁNICO Y CONSTRUCCIÓN EUROBOT 2010

PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: ESPECIALIDAD MECÁNICA

TUTOR: JOSE MARÍA ARMINGOL MORENO

ALUMNO: LUIS MIGUEL GONZALEZ SÁNCHEZ

RESUMEN

Este proyecto ha sido motivado por el concurso de robótica celebrado en Europa todos los años, conocido por el nombre de EUROBOT. El certamen consiste en competiciones de robots de uno contra uno, donde el objetivo es conseguir el máximo número de elementos repartidos por el tablero para conseguir la máxima puntuación. El concurso varía la forma en la que está ambientado cada año. En la presente edición, consistía en almacenar elementos "comestibles", representados por pelotas rojas, naranjas y cilindros de polipropileno en un depósito destinado a ello.

El robot construido se rige por una normativa impuesta por la organización. A partir de esta, se ha diseñado y desarrollado un prototipo sencillo, eficaz y competitivo que pudiera dar solución a los obstáculos que se proponían.

El proyecto contiene las pautas y los pasos que nos han guiado para desarrollar la parte mecánica del robot. Entre los principales aspectos que confieren la forma final, destacamos el sistema de recogida, el sistema locomotor, y sobre todo, la estructura donde irán instalados todos los elementos utilizados, tanto mecánicos como electrónicos. Así, entre sus contenidos podemos encontrar un estudio previo de estos bloques para conocer las herramientas de las que disponíamos, además de todo el proceso de diseño, desarrollo y construcción de cada uno de ellos.

Por último, se hace un análisis económico de los gastos generados en la realización del proyecto, tanto de costes materiales como personales.

Los futuros equipos que participen en este concurso podrán encontrar información útil en este proyecto para desarrollar avances y mejoras, y para poder tener una visión global del desarrollo mecánico de un robot.

ABSTRACT

EUROBOT is an international amateur robot contest that takes place every year in Europe. The challenge of compete developing and managing a robot from the very beginning was the motivation of this project. In this occasion, the competition consists on several matches where one robot versus another one struggle for putting the most weight in its container in order to get the highest score. The robot will collect food elements represented as red and orange juggling balls and yellow cylinders of polypropylene to put them in the container.

Our robot must follow the rules, specifications and restrictions that EUROBOT Association detailed. Confine ourselves to that, we designed and carried out a simple, efficient and competitive prototype that could provide solution to the difficulties set this year.

This project contains the guideline and steps of the development of the mechanical part of the robot. Among the main aspects that set up the final prototype we highlight the collection and locomotive system and , above all, the structure where were installed all the elements used, both mechanical and electronic. Furthermore, we can find inside a previous study of each block. This will let us know the tools available and the design, development and building process.

To end up with, we can see an economic analysis of costs incurred in the project, both material and personal costs.

Future teams competing in this contest as well as designers and developers of robots will find useful this project in order to taking in advance in the realization of improvements and having an overall view of the mechanic development of a robot project.

AGRADECIMIENTOS

Llegar hasta aquí no ha sido un camino sencillo, pero hubiese resultado bastante más complicado sin la ayuda y el gran apoyo de tanta gente, que enseguida comenzaré a nombrar:

En primer lugar, quería agradecer a mi tutor de proyecto José María Armingol, por haberme brindado la oportunidad de participar en este trabajo, por despertar en mí un interés mayor por el mundo de la robótica y por haberme guiado y asesorado en todo este proceso. Gracias.

Agradecer también a todas aquellas personas que con su trabajo y dedicación nos han ayudado en todo aquello que hemos solicitado, permitiéndonos tener acceso a herramientas únicamente disponibles en otros departamentos, o haciéndonos llegar con la mayor brevedad posible el material necesario. Gracias.

Agradecer por supuesto a mi familia, en particular a mis padres y mi hermana, por fortalecerme y animarme a seguir en momentos complicados, especialmente en los primeros años de carrera. Sin su apoyo probablemente no estaría escribiendo estas líneas. Gracias.

También me gustaría hacer extensible este agradecimiento a mis compañeros de proyecto, y a mis eternos compañeros de clase. Siento no dar nombres, pero aquellos que se sientan identificados con esta frase sabrán perfectamente a quien me refiero. Además, quería hacer una mención especial a una persona, Rocío Ruiz Mingo, compañera y amiga, por animarme y aguantarme tantas mañanas y tardes compartidas dentro del laboratorio, y rebatirme en los casos en los que no llevaba razón. Gracias.

Por último, quería hacer una mención a todos aquellos que han oído y escuchado tantas conversaciones sobre un robot que nunca conocieron, pero quizá por “mi pesadez” también les resultó en algún momento familiar. Y agradecer también a todos aquellos que me preguntaban: “¿Pero este proyecto no lo vas a acabar nunca?” o “¿Es el proyecto más largo de la historia?”... Vuestros “curiosos ánimos” también me motivaban. Gracias.



ÍNDICE

1. Introducción y objetivos.....	13
1.1 Introducción.....	14
1.2 Objetivos del proyecto.....	15
2.2 Contenido del proyecto.....	16
2. Estado del arte.....	19
2.1 Introducción a la robótica.....	20
2.2 Antecedentes históricos.....	23
2.2.1 Robótica moderna.....	28
2.3 Clasificación de robots.....	31
2.3.1 Arquitectura.....	31
2.3.2 Potencia del software.....	35
2.4 Aplicaciones industriales.....	37
2.4.1 Sectores de aplicación.....	39
2.4.2 Aplicaciones innovadoras.....	42
2.5 EUROBOT.....	44
2.5.1 Ediciones anteriores.....	45
3. Problema y solución.....	53
3.1 Descripción del problema.....	54
3.1.2 Elementos de juego.....	54
3.1.3 Limitaciones generales y dimensionales.....	63
3.1.4 Desarrollo del partido.....	64
3.1.5 Desarrollo de la competición.....	65
3.2 Solución propuesta.....	66

4. Diseño mecánico.....	71
4.1 Introducción.....	72
4.2 Introducción a <i>Solid Edge</i>	73
4.1.1 Entornos de trabajo.....	73
4.1.2 Entorno gráfico.....	74
5. Estructura.....	77
5.1 Diseño de la base.....	78
5.1.1 Material.....	78
5.1.2 Definición del contorneado exterior y construcción.....	81
5.1.3 Dimensiones geométricas.....	85
5.2 Diseño carcasa exterior.....	88
5.2.1 Material.....	88
5.2.2 Definición del contorneado exterior y construcción.....	96
6. Sistema de recogida.....	102
6.1 Estrategia.....	103
6.1.1 Homologación.....	105
6.2 Mecanismo "Recoge-naranjas".....	106
6.2.1 Viabilidad del sistema.....	106
6.2.2 Piezas mecanismo "Recoge-naranjas".....	114
6.2.3 Diagrama de estados.....	119
6.2.4 Cálculos.....	122
6.2.4.1 Efectos gravitatorios.....	122
6.2.4.2 Momento a vencer.....	125
6.3 Mecanismo "Recoge-tomates".....	126
6.3.1 Evolución del mecanismo.....	127
6.3.2 Piezas mecanismo "Recoge-tomates".....	127
6.3.3 Diagrama de estados.....	131



7. Sistema locomotor.....	134
7.1 Sistemas de tracción.....	134
7.2. Configuración.....	135
7.3 Elementos del sistema de tracción.....	136
7.4 Reparto de pesos.....	140
8. Conclusiones.....	144
8.1 Conclusiones.....	145
8.2 Proyectos futuros.....	147
9. Presupuesto.....	149
10.1 Costes de material.....	150
10.2 Costes de personal.....	153
10.3 Presupuesto final.....	153
10. Bibliografía.....	155
11.1 Recursos bibliográficos.....	155
11.2 Recursos electrónicos.....	155

Índice de figuras

Figura 1. Rapperswill- Jona, Zurich.....	14
Figura 2. Robot "Condensador de Fluzo".....	17
Figura 3. Portada de la novela RUR.....	20
Figura 4. Intersección de varias disciplinas en Robótica.....	21
Figura 5. Pájaros de Herón.....	24
Figura 6. Fuente "a presión" de Arquitas de Tarento.....	24
Figura 7. Gallo de Estrasburgo.....	25
Figura 8. Pato de Vaucanson.....	26
Figura 9. "El Turco" de Wolfgang Von Kempelen.....	27
Figura 10. Hiladora de Joseph Marie Jacquard.....	27
Figura 11. Robot "AIBO" de Sony.....	30
Figura 12. Robots móviles de tracción independiente.....	32
Figura 13. Robot industrial de producción de automóviles.....	32
Figura 14. Robots de fines médicos.....	33
Figura 15. Robots poli-articulados.....	33
Figura 16. Robot androide.....	34
Figura 17. Robot zoomórfico.....	34
Figura 18. Proceso de producción en cadena.....	38
Figura 19. Robot ABB de pintura para automoción.....	40
Figura 20. Sistemas de extracción automático.....	41
Figura 21. Máquina de coser computerizada.....	41
Figura 22. Robot de edificación.....	42
Figura 23. Robot agricultura.....	43
Figura 24. Robot "rover" de teleoperación y telepresencia.....	44

Figura 25. Logotipo EUROBOT 2010.....	44
Figura 26. Campo de juego EUROBOT 1998.....	46
Figura 27. Campo de juego EUROBOT 1999.....	46
Figura 28. Campo de juego EUROBOT 2000.....	47
Figura 29. Campo de juego EUROBOT 2001.....	47
Figura 30. Campo de juego EUROBOT 2002.....	48
Figura 31. Campo de juego EUROBOT 2003.....	48
Figura 32. Campo de juego EUROBOT 2004.....	49
Figura 33. Campo de juego EUROBOT 2005.....	49
Figura 34. Campo de juego EUROBOT 2006.....	50
Figura 35. Campo de juego EUROBOT 2007.....	50
Figura 36. Campo de juego EUROBOT 2008.....	51
Figura 37. Campo de juego EUROBOT 2004.....	51
Figura 38. Logotipo EUROBOT 2010.....	52
Figura 39. Campo de juego EUROBOT 2010.....	55
Figura 40. Rampa zona de naranjas.....	55
Figura 41. Disposición de soportes.....	56
Figura 42. Disposición de tomates en el campo de juego.....	57
Figura 43. Perfil de los soportes de las naranjas y sus dimensiones.....	58
Figura 44. Mazorcas fijas y móviles.....	59
Figura 45. Elementos del campo de juego.....	62
Figura 46. Medidas aceptadas del perímetro.....	46
Figura 47. Estrategia inicial.....	67
Figura 48. Brazo mecánico articulado.....	68
Figura 49. Prototipo inicial recoge-naranjas.....	69
Figura 50. Interfaz entorno de trabajo de SOLID EDGE.....	74
Figura 51. Interfaz entorno de conjunto de SOLID EDGE.....	76
Figura 52. Comparativa valores de resistencia en metales.....	79

<i>Figura 53. Distancias entre mazorcas.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 54. Detalle distancia entre mazorcas.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 55. Rueda Hyper Hockey Pro 250.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 56. Rueda loca central.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 57. Plano base del robot.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 58. Plano base del robot con chaflán.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 59. Base de aluminio del robot.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 60. Diagrama tensión-deformación tramo elástico.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 61. Diagrama tensión- deformación.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 62. Representación de la dureza esquema tensión- deformación.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 63. Comparativa dureza vs. Resistencia.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 64. Tipo de materiales en función de dureza vs. Resistencia.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 65. Carcasa estructura interior.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 66. Carcasa estructura interior.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 67. Estructura interior (porta-placas).....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 68. Diseño estructura exterior.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 69. Vista alzado y perfil estructura exterior.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 70. Esquema alturas disponibles para el robot.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 71. Capturas de "Condensador de Fluzo".....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 72. Estrategia inicial.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 73. Estrategia final.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 74. Zona destinada al almacenaje de naranjas.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 75. Vista planta del robot.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 76. Plano vista planta del robot.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 77. Plano dimensiones del campo de juego.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 78. Detalle plano de dimensiones del campo de juego.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 79. Perfil conjunto robot-soportes y detalle parte delantera del robot.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 80. Altura de los soportes.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 81. Perfil del robot y dimensiones.....</i>	<i>113</i>

<i>Figura 82. Brazo mecánico recogiendo pelota naranja.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 83. Raíles porta-pelotas.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 84. Servo-motor Futaba 3010.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 85. Servo-motores modelados con Solid Edge.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 86. Travesaño de unión modelado con Solid Edge.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 87. Bumper GP 2D12.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 88. Rodamiento modelado con Solid Edge.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 89. Mecanismo recoge-naranjas.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 90. Mecanismo recoge-naranjas integrado en el robot.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 91. Diagrama de estados recogida de pelotas naranjas.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 92. Interfaz programa controlador de servo-motores.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 93. Rodamiento pared- pelotas modelado en Solid Edge.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 94. Palas modeladas en Solid Edge.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 95. Barreras de seguridad modeladas en Solid Edge.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 96. Servo-motor Futaba 3003 modelado en Solid Edge.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 97. Mecanismo recoge-tomates integrado en el robot.....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 98. Robot almacenando tomates en el depósito.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 99. Motor MR615 30Q con reductora diseñado en Solid Edge.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 100. Rueda Hyper Hockey Pro 250 diseñada en Solid Edge.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 101. Conjunto motor-rueda diseñado en Solid Edge.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 102. Distribución sistema locomotor y tipos de bolas locas.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 103. Interfaz programa Abaqus.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 104. Distribución de pesos sin ruedas locas delanteras.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 105. Vista lateral distribución de pesos en ruedas locas delanteras.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 106. Distribución de pesos total del robot.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 107. Rapperswill-Jona, Zurich (Suiza).....</i>	<i>145</i>

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Niveles de inteligencia robots.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2. Niveles de control en robots.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3. Niveles de programación en robots.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 4. Medidas soportes de las naranjas respecto de la rampa.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 5. Puntuación por objetos "comestibles".....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 6. Puntuación por resultado en cada partido.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 7. Cuadro de eliminatorias concurso EUROBOT.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 8. Valores de las características mecánicas en metales.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 9. Valores de distancias entre mazorcas.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 10. Dimensiones geométricas de los vaciados en la base.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 11. Propiedades mecánicas Metacrilato.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 12. Comparativa propiedades mecánicas vidrio vs. Metacrilato.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 13. Costes de la estructura.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 14. Costes de los actuadores.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 15. Costes de los sensores.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 16. Costes del sistema locomotor.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 17. Costes de la electrónica.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 18. Costes del campo de pruebas.....</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 19. Costes de personal.....</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 20. Presupuesto final del proyecto.....</i>	<i>153</i>



1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Desde principio de los tiempos, el hombre ha querido construir herramientas que le hicieran más sencillas las tareas cotidianas que realizaba.

Con el paso de los años, se ha ido innovando y creando nuevas herramientas hasta conseguir sistemas realmente complejos que se han instaurado en nuestra sociedad.

Este es el caso de los “robots”. Estos artilugios se han ido implantando en ámbitos muy dispares, ya no sólo para formar parte de las sofisticadas cadenas de producción para realizar las tareas más duras sino también relacionarse con seres humanos o simplemente para entretenernos como es el objeto del presente proyecto.

La idea de la realización de este proyecto surgió con la nueva edición del EUROBOT (2010), que este año se celebraba en la ciudad suiza de Rapperswil-Jona, situada a aproximadamente a 40 kilómetros de la capital, Zurich. Entonces se decidió formar un equipo para el diseño y construcción de un robot capaz de llevar a cabo las tareas exigidas en esta edición.



Figura 1. Rapperswil- Jona, Zurich

EUROBOT es un evento de ámbito internacional que consiste en competiciones de robots, en partidos de uno contra uno. En esta edición se trata de introducir los objetos, cuidadosamente repartidos por todo el tablero, en su correspondiente portería, siendo el ganador el que más puntos consiga.

Para poder conseguir un robot fiable y eficiente, previamente asistimos a un concurso a nivel nacional, el HISPABOT. Este concurso se celebra en Alcalá de Henares

(Madrid, España) y sigue las mismas pautas de la competición europea, tanto la normativa como las medidas del campo donde se juega.

El proyecto se compone de diferentes partes. La presente memoria comprende la realización de una parte de este trabajo tan amplio; en los capítulos siguientes se puede encontrar toda la información necesaria acerca del diseño del sistema mecánico del robot, desde los prototipos iniciales hasta su construcción final así como aclaraciones necesarias para poder entender todo el conjunto.

Además se exponen, sin entrar demasiado en detalle, los diferentes campos que lo completan para que se pueda tener una visión global del proyecto y el espacio que ocupa en él los sistemas que dan nombre a esta memoria.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Este proyecto nace con el objeto de representar al LSI (Laboratorio de Sistemas Inteligentes) del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, de la Universidad Carlos III, en la edición de Eurobot 2010.

De esta manera, se ha intentado poner en funcionamiento los conocimientos aplicados y las decisiones tomadas a la hora de diseñar los sistemas de recogida, de locomoción y de localización para el microrrobot, bautizado como *Flow-Condensator*, a la vez que se explica el funcionamiento general de este.

Desde las primeras reuniones, el objetivo era buscar soluciones sencillas, de acuerdo al presupuesto disponible, pero lo más eficientes posibles. Así se asentaron las bases que nos guiarían a lo largo de todo el proceso de fabricación y “la puesta en marcha” del trabajo:

- Diseñar un microrrobot fiable y robusto que cumpla el reglamento exigido para competir en la edición 2010 de *Eurobot*.
- Buscar una estrategia sencilla y eficiente que diera solución al problema que plantea el certamen.
- Diseñar e implementar un sistema de locomoción que permita al microrrobot afrontar los problemas surgidos en el juego.

- Diseñar e implementar un sistema de recogida de los diferentes objetos situados por el campo de juego, de una forma estable y que no ocasione importantes cambios en la trayectoria del robot.

1.3 CONTENIDOS DEL PROYECTO

El contenido de esta memoria se distribuye en distintos capítulos en función de los bloques temáticos que la componen. A continuación se hace una breve descripción de cada uno de ellos:

- ESTADO DEL ARTE

Este proyecto está relacionado con el mundo de la robótica. Este bloque servirá a modo de introducción para aclarar algunos conceptos relacionados con este campo de la tecnología: su historia, sus aplicaciones y sectores en el mundo de la industria, las investigaciones para seguir desarrollando nuevos prototipos y su clasificación en función dependiendo de varios aspectos tales como la generación a la que pertenecen, el nivel de control o según el nivel de inteligencia del que estén dotados para poder entender la complejidad de esta rama tecnológica.

En ocasiones, como en este caso concreto, la robótica está orientada a fines lúdicos mediante concursos o competiciones de robots. Por ello también se hará mención al certamen que nos ocupa, el EUROBOT, realizando un breve repaso por las ediciones anteriores para finalmente explicar en qué consiste la convocatoria de este año.

- PROBLEMA Y SOLUCIÓN

En este apartado presentamos las complicaciones que se presentan en esta edición y cuáles son las posibles soluciones con las que se puede actuar siempre adaptándonos a la normativa del concurso.

Respecto al problema, existen varios objetos diferentes con los que se puede puntuar, con sus correspondientes puntuaciones en función del peso: mazorcas, naranjas y tomates. Sin embargo, cada objeto requiere una forma de recogida distinta y los accionamientos y mecanismos para llevarlo a cabo también varían.

Respecto a la solución, se expondrán las ideas que consideramos que mejor se adecúan a la estrategia elegida y al presupuesto.

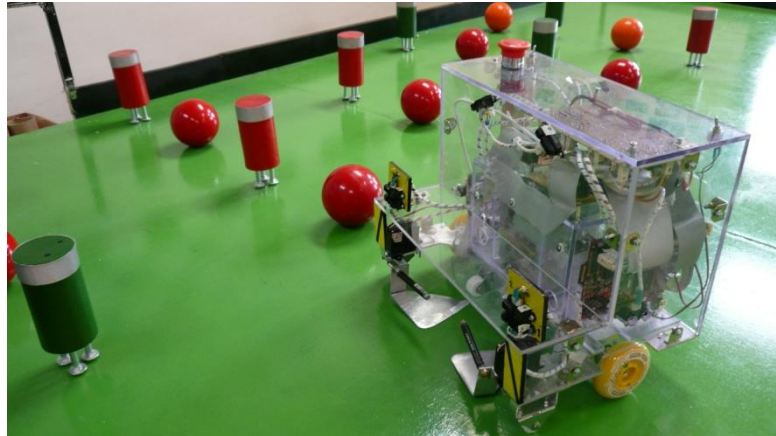


Figura 2. Robot "Condensador de Fluzo"

- DISEÑO MECANICO

En esta sección se realizará un análisis detallado de los requerimientos mecánicos que necesitará el robot para funcionar de una manera eficiente, así como se redactará el proceso de construcción, desde los prototipos e ideas iniciales hasta la consecución del modelo final.

Esta sección está comprendida por los siguientes sub-bloques:

- ESTRUCTURA

Se realizará un estudio sobre la estructura, tanto en su parte interior como exterior, valorando cuales son los materiales adecuados, la forma geométrica que mejor se adapte a la estrategia elegida y las dimensiones geométricas que finalmente presentarán sus caras.

- SISTEMA DE RECOGIDA

Se realizará un análisis sobre los diferentes sistemas encargados de la recogida y el almacenamiento de los objetos que iremos encontrando en el tablero de juego, explicando detalladamente su función, su método de actuación y la finalidad que persigue cada uno.

Además, se realizará un estudio desde el punto de vista de la fabricación, apoyándonos en una potente herramienta de diseño asistido por computador con el fin de explicar el proceso de mecanizado de cada una de las partes que forman estos sistemas.



➤ SISTEMA LOCOMOTOR

Finalmente, mencionaremos el sistema locomotor que permite dar movimiento al robot. Se describirán los accionamientos encargados de controlar en todo momento la posición de los diferentes sistemas que trabajan solidariamente a estos.

- CONCLUSIONES Y RESULTADOS

En este capítulo se detallarán los resultados y las conclusiones obtenidas. Se realizará una valoración sobre los aspectos más favorables de este robot respecto a otros anteriores y se harán sugerencias sobre qué aspectos se podrían mejorar en un futuro.

- PRESUPUESTO

Se calcularán todos los costes de diseño y fabricación del microrrobot, incluyendo costes de material, de fabricación y mano de obra.

- BIBLIOGRAFIA

Se hará referencia a todas las fuentes donde se ha obtenido información interesante para la realización del proyecto.



2. ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA

El término "Robótica" fue acuñado por Isaac Asimov para describir la tecnología de los robots. Él mismo predijo hace años el aumento de una poderosa industria robótica, predicción que ya se ha hecho realidad. Recientemente se ha producido una explosión en el desarrollo y uso industrial de los robots tal que se ha llegado al punto de hablar de "revolución de los robots" y "era de los robots". [3]

La palabra robot fue usada por primera vez en el año 1921, cuando el escritor checo Karel Capek (1890 - 1938) estrena en el teatro nacional de Praga su obra Rossum's Universal Robot (R.U.R.). Su origen es de la palabra eslava "robota", que se refiere al trabajo realizado de manera forzada. La obra nos habla de un grupo de científicos dirigidos por Harry Domin, que enclaustrados en una fábrica situada en el Pacífico, han construido robots con los que planean liberar del trabajo duro y peligroso. El problema surge cuando los millones de robots que han sido vendidos a países de todo el mundo en una fiebre consumista sin igual en la Historia, se rebelan contra sus creadores humanos y estalla la guerra. Además, tenía el mérito de haber trasladado la palabra robot al inglés, y, a través del inglés, a todos los idiomas en los que alguna vez se ha escrito ciencia ficción. [9]



*Figura 3. Portada de la novela
RUR*

Luego, Isaac Asimov comenzó en 1939 a contribuir con varias relaciones referidas a robots y a él se le atribuye el acuñamiento del término Robótica y con el surgen las denominadas "Tres Leyes de Robótica":

- *“Un robot no puede actuar contra un ser humano o, mediante la inacción, que un ser humano sufra daños.”*
- *“Un robot debe de obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, salvo que estén en conflictos con la primera ley.”*
- *“Un robot debe proteger su propia existencia, a no ser que esté en conflicto con las dos primeras leyes.”*

Según la Real Academia Española la palabra “Robótica” se puede definir como la “técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales”. [5]

Sin embargo el término robótica puede ser definido desde diversos puntos de vista:

- Con independencia respecto a la definición de "robot":

"La Robótica es la conexión inteligente de la percepción a la acción".
[Michael Brady and Richard Paul, editors. *Robotics Research: The First International Symposium*. The MIT Press, Cambridge MA, 1984]

- En base a su objetivo:

"La Robótica consiste en el diseño de sistemas. Actuadores de locomoción, manipuladores, sistemas de control, sensores, fuentes de energía, software de calidad--todos estos subsistemas tienen que ser diseñados para trabajar conjuntamente en la consecución de la tarea del robot".

[Joseph L. Jones and Anita M. Flynn. *Mobile robots: Inspirations to implementation*. A K Peters Ltd, 1993]

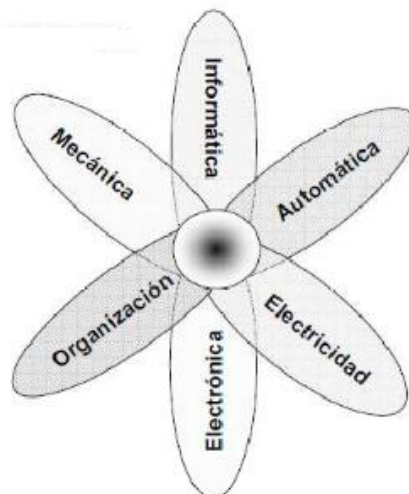


Figura 32. Intersección de varias disciplinas en Robótica

- Supeditada a la propia definición del término robot:

"La Robótica describe todas las tecnologías asociadas con los robots".

La mayoría de los expertos en Robótica afirmarían que es complicado dar una definición universalmente aceptada. Las definiciones son tan dispares como se demuestra en la siguiente relación:

- Ingenio mecánico controlado electrónicamente, capaz de moverse y ejecutar de forma automática acciones diversas, siguiendo un programa establecido.
- Máquina que en apariencia o comportamiento imita a las personas o a sus acciones como, por ejemplo, en el movimiento de sus extremidades
- Un robot es una máquina que hace algo automáticamente en respuesta a su entorno.
- Un robot es un puñado de motores controlados por un programa de ordenador.
- Un robot es un ordenador con músculos.

Es cierto, como acabamos de observar, que los robots son difíciles de definir. Sin embargo, no es necesariamente un problema el que no esté todo el mundo de acuerdo sobre su definición. Quizás, Joseph Engelberg (padre de la robótica industrial) lo resumió inmejorablemente cuando dijo: "Puede que no se capaz de definirlo, pero sé cuando veo uno". [7]

2.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Para entender la historia de la robótica es necesario hablar de los autómatas, y consecuentemente conocer a que nos referimos con este término. Se pueden encontrar distintas definiciones de esta palabra tales como:

1. *Máquina que contiene un mecanismo que le permite realizar determinados movimientos.*
2. *Máquina que imita la figura y los movimientos de un ser animado.*
3. *Dispositivo o conjunto de reglas que realizan un encadenamiento automático y continuo de operaciones capaces de procesar una información de entrada para producir otra de salida.*
4. *Persona que se deja dirigir o actúa condicionada por medio de una máquina. [8]*

Conociendo entonces la definición de autómata podemos afirmar que desde tiempos muy antiguos se intentó dar una solución a los trabajos más tediosos, crear de alguna forma vida artificial que fuera capaz de imitar el comportamiento humano.

La historia de la robótica se remonta al Antiguo Egipto. Los antiguos egipcios unieron brazos mecánicos a las estatuas de sus dioses. Estos brazos fueron operados por sacerdotes, quienes clamaban que el movimiento de estos era inspiración de sus dioses.

En el siglo IV A.C, el matemático griego Arquitas de Tarento construyó un ave mecánica que funcionaba con vapor y al que llamó "La paloma". También el ingeniero Herón de Alejandría (10-70 d.C.) creó numerosos dispositivos automáticos que los usuarios podían modificar, y describió máquinas accionadas por presión de aire, vapor y agua. Entre sus tratados más destacados podemos mencionar "*Los autómatas*", en los que describe la creación de mecanismos de esta época que imitaban algunos movimientos, como pájaros que volaban y bebían, estatuas que servían vino y puertas automáticas. Su funcionamiento se basaba en mecanismos accionados por el agua, la gravedad o por sistemas de palancas. [8]

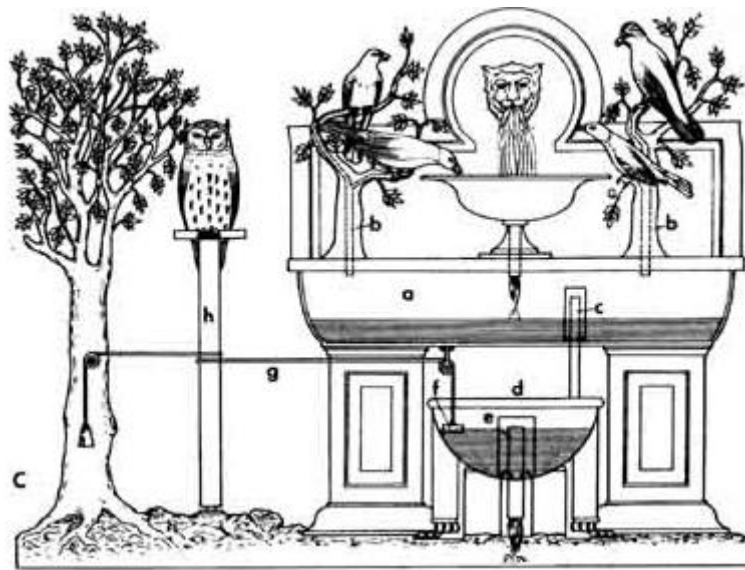


Figura 5. Pájaros de Herón

Pero entre su obra también podemos encontrar inventos con fines más prácticos. Presentó muchos modelos de fuentes utilizando flotadores, palancas y poleas para mover estatuas y aire comprimido para producir un sonido silbante. Escribió *“La neumática”*, un tratado que incluía descripciones de sifones, válvulas, bombas y una rudimentaria máquina de vapor. Uno de estos ingenios era una fuente que funcionaba “a presión” sin ninguna fuente energética suplementaria.



Figura 6. Fuente "a presión" de Arquitas de Tarento

Por su parte, el estudioso chino Su Song levantó una torre de reloj en 1088 con figuras mecánicas que daban las campanadas de las horas.

Los árabes también se impregnaron de esta “nueva cultura” y empezaron a fabricar artilugios y sofisticados mecanismos para la época capaces de tener “vida propia”.

Al Jazarií (1136–1206), un inventor musulmán de la dinastía Artuqid, diseñó y construyó una serie de máquinas automatizadas, entre los que había útiles de cocina, autómatas musicales que funcionaban con agua, y en 1206 los primeros robots humanoides programables. Las máquinas tenían el aspecto de cuatro músicos a bordo de un bote en un lago, entreteniéndolos a los invitados en las fiestas reales. Su mecanismo tenía un tambor programable con clavijas que chocaban con pequeñas palancas que accionaban instrumentos de percusión. Podían cambiarse los ritmos y patrones que tocaba el tamborilero moviendo las clavijas. [10]

Otro ejemplo relevante de la época fue el Gallo de Estrasburgo que funcionó desde 1352 hasta 1789. Este es el autómata más antiguo que se conserva en la actualidad, formaba parte del reloj de la catedral de Estrasburgo. Al dar las horas movía el pico y las alas tres veces.



Figura 7. Gallo de Estrasburgo

En torno a 1495, Leonardo da Vinci (1452–1519) diseñó los planos para un robot humanoide. Los cuadernos del artista, recuperados en los años 50, contienen detallados dibujos de un caballero mecánico ahora conocido como el robot de Leonardo, que podía sentarse, alzar los brazos y mover la cabeza y la mandíbula. El diseño se basaba probablemente en la investigación anatómica registrada en su “Hombre de Vitruvio”. [10]

En 1738, Jacques Vaucanson (1709-1782), uno de los más famosos y completos constructores de andróides automatizados de la historia, montó un autómata flautista capaz de ejecutar melodías barrocas. El papamoscas, autómata de la catedral de

Burgos que se acciona con la coincidencia horaria, realizaba la digitación sobre el instrumento y seguía con los ojos la partitura. Además consiguió uno de los hitos más sonados de la historia de la robótica al construir un pato mecánico de más de 400 piezas móviles, capaz de graznar y comer de la mano del público, completando de forma total la digestión.

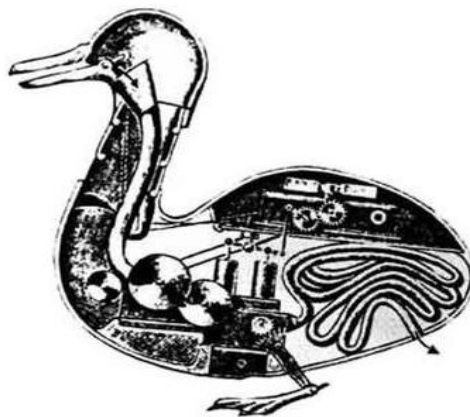


Figura 833. Pato de Vaucanson

Pierre Jaquet-Droz suizo nacido en 1721 es el responsable de los tres autómatas más complejos y famosos del siglo XVIII. Sus tres obras maestras conocidas respectivamente como “La Pianista”, “El Dibujante” y “El Escritor” causaron asombro en la época llegando a ser contemplados por reyes y emperadores tanto de Europa como de China, India o Japón.

En 1769, el ingeniero húngaro Johann Wolfgang Ritter von Kempelen (o Ján Vlk Kempelen), (1734-1804), construye uno de los autómatas más famosos de la historia: una máquina para jugar al ajedrez. Se trataba de un dispositivo puramente mecánico, consistente en una figura humana vestida con largos faldones y tocada con un turbante, sentada a una mesa de 120 cm. de largo por 80 cm. de alto. Por su aspecto la máquina era conocida como “El turco”. Sobre la mesa había un tablero de ajedrez, y en el interior unos finos engranajes y resortes que imprimían movimiento a sus manos, que iban cambiando las fichas de posición a medida que transcurría la partida. Para demostrar que no había truco el inventor abría las puertas de la caja y levantaba también las largas ropas del muñeco, evidenciando que se trataba de un ingenio mecánico sin intervención humana alguna. El maniquí ganaba las partidas más complicadas y se hizo famoso en toda Europa cuando derrotó por tres veces a Napoleón Bonaparte en el palacio vienés de Schönbrunn. [8]

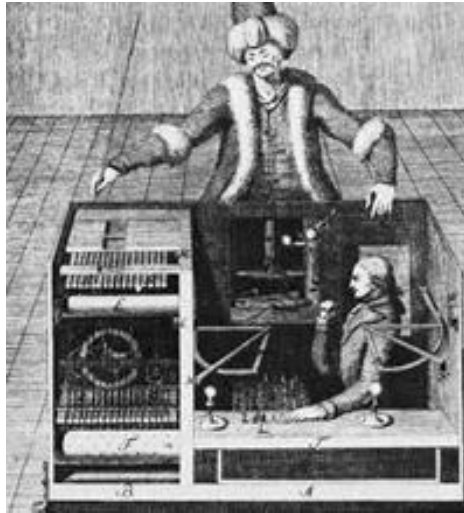


Figura 9. "El Turco" de Wolfgang Von Kempelen

En esta época los autómatas tenían sobre todo una intención lúdica y eran exhibidos en ferias y circos. Sólo después de unos años, a partir de la revolución industrial, empezaron a ser usados para funciones productivas.

Durante el siglo XVIII ya habían sucedido avances en el terreno industrial, como la máquina de vapor de Thomas Newcomen (1664- 1729), perfeccionada después por Humphrey Potter, que introdujo un novedoso concepto: la retroalimentación. A partir de ese instante el ingeniero diseñador debía cumplir la doble misión de fabricar la máquina y construir el autómata, que en muchos casos formaba parte de la propia máquina.

En 1801 Joseph Marie Jacquard (1752-1834), un empresario textil, realiza una aportación fundamental a la robótica al diseñar un sistema de funcionamiento automático de los telares, programando sus movimientos.

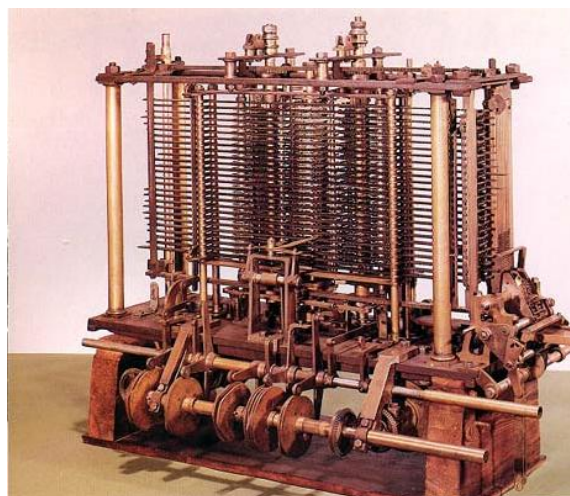


Figura 10. Hiladora de Joseph Marie Jacquard

En 1891 Thomas Alva Edison (1847-1931), además de sus importantes aportaciones a la técnica (lámpara incandescente, gramófono) construyó varios autómatas, entre los que destacaba una muñeca parlante.

En 1906 Lee de Forest (1873-1961) desarrolla una bombilla incandescente triple conocida como tríodo, que es una de las bases fundamentales de la circuitería electrónica moderna y que sustentó el desarrollo de las máquinas de computación hasta la invención de los transistores. [10]

A partir de este momento, la robótica sufre un crecimiento espectacular, coincidiendo con la presentación del primer libro de Isaac Asimov (*“Yo robot”*), y se produce el apogeo de “robótica moderna”, donde los autómatas construidos asientan las bases de los robots que conocemos actualmente.

2.2.1 ROBÓTICA MODERNA

A partir de la década del 30, la historia de los robots y la robótica marcan ciertos hitos que demuestran el “boom” sufrido por la robótica; haremos referencia a los más importantes para no extendernos en demasía:

- En 1946, el inventor americano G.C Devol desarrolló un dispositivo controlador que podía registrar señales eléctricas por medios magnéticos y reproducirlas para accionar una máquina mecánica.
- En 1951, se desarrolla un trabajo con teleoperadores (manipuladores de control remoto) para manejar materiales radiactivos cuya patente de Estados Unidos fue emitida para Goertz y Bergsland en los años 1954 y 1958 respectivamente.
- En 1952, una máquina prototipo de control numérico fue objetivo de demostración en el Instituto Tecnológico de Massachusetts después de varios años de desarrollo. Un lenguaje de programación de piezas denominado APT (*Automatically Programmed Tooling*) se desarrolló posteriormente y se publicó en 1961. [11]

- En 1959, se introdujo el primer robot comercial por "*Planet Corporation*", controlado por interruptores de fin de carrera. [11]
- En 1960, se introdujo el primer robot "*Unimate*", basada en la transferencia de artículos programados de Devol. Utilizan los principios de control numérico para el control del manipulador y era un robot de transmisión hidráulica.[11]
- En 1968, un robot móvil llamado "*Shakey*" se desarrolló en SRI (Standford Research Institute). Este estaba provisto de una diversidad de sensores (táctiles) así como una cámara de visión y podía desplazarse por el suelo.
- En 1971, el 'Standford Arm', un pequeño brazo de robot de accionamiento eléctrico, se desarrolló en la Standford University.[13]
- En 1973, se desarrolló en SRI el primer lenguaje de programación de robots del tipo de computadora para la investigación con la denominación WAVE. Fue seguido por el lenguaje AL en 1974. Los dos se desarrollaron posteriormente en el lenguaje VAL comercial para Unimation por Víctor Scheinman y Bruce Simano.
- En 1974, ASEA introdujo el robot "*Irb6*" de accionamiento completamente eléctrico.
- En 1975, el robot "Sigma" de Olivetti se utilizó en operaciones de montaje, una de las primitivas aplicaciones de la robótica al montaje.
- En 1976, un dispositivo de Remopte Center Compliance (RCC) para la inserción de piezas en la línea de montaje se desarrolló en los laboratorios Charles Stark Draper Labs en estados Unidos.
- En 1978, la misión Viking llega a Marte; tiene una maquinaria que posee un brazo robótico articulado. Aparecen varias empresas dedicadas a la fabricación de robots para la industria. [11]
- En 1979, se desarrolló del robot tipo SCARA (Selective Compliance Arm for Robotic Assambly) en la Universidad de Yamanashi en Japón para montaje.

Posteriormente varios robots SCARA comerciales se introdujeron en el mercado, hacia 1981.

- En 1982, IBM introdujo el robot RS-1 para montaje, basado en varios años de desarrollo interno. Se trata de un robot de estructura de caja que utiliza un brazo constituido por tres dispositivos de deslizamiento ortogonales. El lenguaje del robot AML, desarrollado por IBM, se introdujo también para programar el robot SR-1. [10]
- En 1983, se emitió un informe por la investigación en "Westinghouse Corporation" bajo el patrocinio de National Science Foundation sobre un sistema de montaje programable adaptable (APAS), un proyecto piloto para una línea de montaje automatizada flexible con el empleo de robots.
- En 1997, Honda presenta el P3, un enorme robot humanoide.
- En 1999, Sony fabrica el perro robótico "Aibo"



Figura 34 . Robot "AIBO" de Sony

- En 2000, se presenta el pequeño humanoide "Robodex 200", también de Sony.
- En 2003, el robot "Qrio" se convierte en el primer humanoide completamente autónomo, capaz de correr. [11]

A grandes rasgos, esta es la secuencia cronológica de los avances tecnológicos que se fueron desarrollando en el mundo de la robótica y aplicando a las versiones posteriores que emergían en el mercado.

Es a partir del año 2004 cuando parecen, prácticamente cada mes, distintas versiones de robots, desde los asistentes en peluquería y hospitales hasta los que pueden tocar la trompeta. Como colofón del apogeo de la robótica, podemos destacar uno de los mayores logros en este campo: enviar un robot explorador a Marte y transmitir, por primera vez, imágenes en directo.

2.3 CLASIFICACIÓN ROBOTS

Los robots pueden clasificarse de varias maneras. Una de las más conocidas formas es la determinada por su arquitectura. Cabe decir que pese a que la clasificación anterior es la más conocida, existe otra no menos importante donde se tiene más en cuenta la potencia del software en el controlador, lo que es determinante de la utilidad y flexibilidad del robot dentro de las limitantes del diseño mecánico y la capacidad de los sensores.

Hablaremos primero entonces de las clasificaciones por arquitecturas y luego definiremos las clasificaciones por la potencia del software del controlador

2.3.1 ARQUITECTURA

Los robots, según su arquitectura, los podemos organizar o clasificar en los siguientes grupos:

➤ Móviles

Los robots móviles están provistos de patas, ruedas u orugas que los capacitan para desplazarse de acuerdo a su programación. Elaboran la información que reciben a través de sus propios sistemas de sensores y se emplean en determinado tipo de instalaciones industriales, sobre todo para el transporte de mercancías en cadenas de producción y almacenes. También se utilizan robots de este tipo para la investigación en lugares de difícil acceso o muy distantes, como es el caso de la exploración espacial y de las investigaciones o rescates submarinos. [12]



Figura 35. Robots móviles de tracción independiente

➤ Industriales

Los robots industriales son artífices mecánicos y electrónicos destinados a realizar de forma automática determinados procesos de fabricación o manipulación.

También reciben el nombre de robots algunos electrodomésticos capaces de realizar varias operaciones distintas de forma simultánea o consecutiva, sin necesidad de intervención humana, como los también llamados «procesadores», que trocean los alimentos y los someten a las oportunas operaciones de cocción hasta elaborar un plato completo a partir de la simple introducción de los productos básicos. [12]



Figura 13. Robot industrial de producción de automóviles.

➤ Médicos

Los robots médicos son, fundamentalmente, prótesis para disminuidos físicos que se adaptan al cuerpo y están dotados de potentes sistemas de mando. Con ellos se logra igualar con precisión los movimientos y funciones de los órganos o extremidades que suplen. [13]

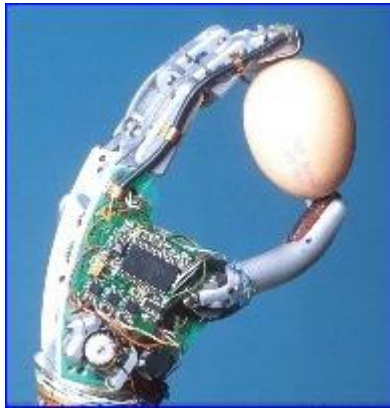


Figura 14. Robots de fines médicos.

➤ **Poliarticulados**

Bajo este grupo están los robots de muy diversa forma y configuración cuya característica común es la de ser básicamente sedentarios aunque excepcionalmente pueden ser guiados para efectuar desplazamientos limitados y estar estructurados para mover sus elementos terminales en un determinado espacio de trabajo según uno o más sistemas de coordenadas y con un número limitado de grados de libertad.

En este grupo se encuentran los manipuladores y algunos robots industriales, y se emplean cuando es preciso abarcar una zona de trabajo relativamente amplia o alargada, actuar sobre objetos con un plano de simetría vertical o reducir el espacio ocupado en la base. [12]

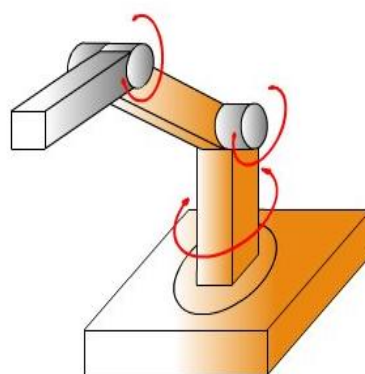


Figura 15. Robots poliarticulados

➤ Androides

Estos intentan reproducir total o parcialmente la forma y el comportamiento cinemático del ser humano. Actualmente los androides son todavía dispositivos muy poco evolucionados y sin utilidad práctica, y destinados, fundamentalmente, al estudio y experimentación.

Uno de los aspectos más complejos de estos robots, y sobre el que se centra la mayoría de los trabajos, es el de la locomoción bípeda. En este caso, el principal problema es controlar dinámicamente y coordinadamente en el tiempo real el proceso y mantener simultáneamente el equilibrio del robot. [13]



Figura 366. Robot androide

➤ Zoomórficos

Este conjunto agrupa a los robots caracterizados principalmente por sus sistemas de locomoción que imita a diversos seres vivos. Los androides también podrían considerarse robots zoomórficos. [13]



Figura 17. Robot zoomórfico

2.3.2. POTENCIA DEL SOFTWARE

Estas clasificaciones reflejan, particularmente, la sofisticada interacción de los sensores. De acuerdo a esta posición los robots han sido clasificados de acuerdo a:

- 1) su generación.
- 2) su nivel de inteligencia.
- 3) su nivel de control.
- 4) su nivel del lenguaje de programación

- **Generación**

La generación de un robot se determina por el orden histórico de desarrollos en la robótica. Normalmente cinco generaciones son asignadas a los robots industriales. La tercera generación es utilizada en la industria, la cuarta se desarrolla en los laboratorios de investigación, y la quinta generación es un gran sueño.

➤ ***Robots de 1ª Generación (Play back)***

El sistema de control usado en la primera generación de robots está basado en la “paradas fijas” mecánicamente. Repite la tarea programada secuencialmente y no toma en cuenta las posibles alteraciones de su entorno. Como ejemplo de esta primera etapa están los mecanismos de relojería que mueven las cajas musicales o los juguetes de cuerda. [14]

➤ ***Robots de 2ª Generación***

El movimiento se controla a través de una secuencia numérica almacenada en disco o cinta magnética. Normalmente, este tipo de robots se utiliza en la industria automotriz y son de gran tamaño. [14]

➤ ***Robots de 3ª Generación***

Utilizan las computadoras para su control y tienen cierta percepción de su entorno a través del uso de sensores. Con esta generación se inicia la era de los robots inteligentes y aparecen los lenguajes de programación para escribir los programas de control. [14]

➤ **Robots de 4ª Generación**

Se trata de robots altamente inteligentes con más y mejores extensiones sensoriales, para entender sus acciones y captar el mundo que los rodea. Incorporan conceptos “modélicos” de conducta. [14]

➤ **Robots de 5ª Generación**

Actualmente se encuentran en desarrollo. Esta nueva generación de robots basará su acción principalmente en modelos conductuales establecidos. [14]

- **Nivel de inteligencia**

Esta clasificación está relacionada con la Asociación de Robots Japonesa (JIRA) en función del nivel de inteligencia de los robots, según los conjuntos que se exponen en la siguiente tabla:

Dispositivos de manejo manual	Controlados por una persona
Robots de secuencia arreglada	
Robots de secuencia variable	Un operador puede modificar la secuencia fácilmente
Robots regeneradores	El operador humano conduce el robot a través de la tarea.
Robots de control numérico	El operador alimenta la programación del movimiento, hasta que se enseñe manualmente la tarea.
Robots inteligentes	Pueden entender e interactuar con cambios en el medio ambiente.

Tabla 1. Niveles de inteligencia robots.

- **Nivel de control**

En esta clasificación se hace referencia a la capacidad de control sobre los programas del controlador:

Nivel de inteligencia artificial	El programa aceptará un comando como "levantar el producto" y descomponerlo dentro de una secuencia de comandos de bajo nivel basados en un modelo estratégico de las tareas.
Nivel de modo de control	Los movimientos del sistema son modelados, para lo que se incluye la interacción dinámica entre los diferentes mecanismos, trayectorias planeadas, y los puntos de asignación seleccionados.
Niveles de servosistemas	Los actuadores controlan los parámetros de los mecanismos con el uso de una retroalimentación interna de los datos obtenidos por los sensores, y la ruta es modificada sobre la base de los datos que se obtienen de sensores externos. Todas las detecciones de fallas y mecanismos de corrección son implementados en este nivel.

Tabla 2. Niveles de control en robots.

- **Nivel del lenguaje de programación**

La clave para una aplicación efectiva de los robots para una amplia variedad de tareas, es el desarrollo de lenguajes de alto nivel. Existen muchos sistemas de programación de robots, aunque la mayoría del software más avanzado se encuentra en los laboratorios de investigación. Los sistemas de programación de robots caen dentro de tres clases:

Sistemas guiados	El usuario conduce el robot a través de los movimientos a ser realizados.
Sistemas de programación de nivel-robot	El usuario escribe un programa de computadora al especificar el movimiento y el sensado.
Sistemas de programación de nivel-tarea	El usuario especifica la operación por sus acciones sobre los objetos que el robot manipula.

Tabla 3. Niveles de programación en robots.

2.4 APLICACIONES INDUSTRIALES

La imagen del robot como una máquina a semejanza del ser humano, subyace en el hombre desde hace muchos siglos, existiendo diversas realizaciones con este fin.

El ciudadano industrializado que vive a caballo entre el siglo XX y el XXI se ha visto en la necesidad de emprender, en escasos 25 años, el significado de un buen número de nuevos términos marcados por su alto contenido tecnológico. De ellos sin duda el más relevante haya sido el ordenador (computador).

Pero dejando de lado esta verdadera revolución social, existen otros conceptos procedentes del desarrollo tecnológico que han superado las barreras impuestas por las industrias y centros de investigación, incorporándose en cierta medida al lenguaje coloquial. Es llamativo como entre éstas destaca el concepto robot.

Sin embargo, el robot industrial, que se conoce y emplea en nuestros días, no surge como consecuencia de la tendencia o afición de reproducir seres vivientes, sino de la necesidad. Fue la necesidad la que dió origen a la agricultura, el pastoreo, la caza, la pesca, etc. Más adelante, la necesidad provoca la primera revolución industrial con el descubrimiento de la máquina de vapor de Watt y, actualmente, la necesidad ha cubierto de ordenadores la faz de la tierra.

Inmersos en la era de la informatización, la imperiosa necesidad de aumentar la productividad y mejorar la calidad de los productos, ha hecho insuficiente la automatización industrial rígida, dominante en las primeras décadas del siglo XX, que estaba destinada a la fabricación de grandes series de una restringida gama de productos. En los últimos años se ha introducido el concepto robótica el cual ha venido a revolucionar la automatización de su clasificación denominada "fija", que consistía en la realización de la producción automática de piezas, elementos y productos en grandes cantidades o de manera repetitiva a su denominación actual, "automatización flexible", que estriba en adaptar la producción a la demanda de un mercado en constante cambio por medio de un sistema de producción programable y adaptable como lo es un robot. Hoy día, más de la mitad de los productos que se fabrican corresponden a lotes de pocas unidades. [13]

Al enfocarse la producción industrial moderna hacia la automatización global y flexible, han quedado en desuso las herramientas, que hasta hace poco eran habituales:

- Forja, prensa y fundición
- Esmaltado
- Encolado
- Desbardado
- Pulido.

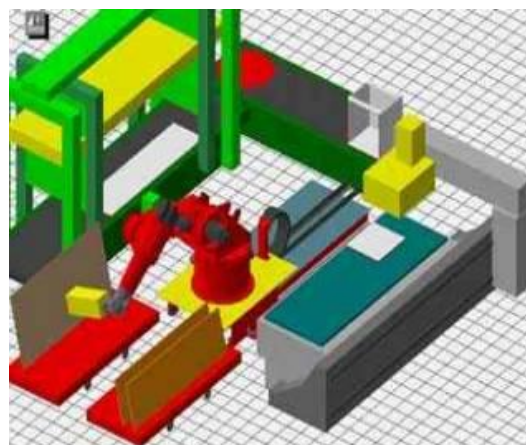


Figura 18. Proceso de producción en cadena

Como sustitutos de las herramientas para las aplicaciones anteriores, y siguiendo las exigencias de los nuevos procesos industriales han surgido nuevos robots, dispuestos a admitir cambios en el desarrollo del proceso primitivo (modificaciones en el diseño de piezas, en las medidas, etc.) que faciliten y hagan viable la aplicación reduciendo los costes y los tiempos de fabricación. Estos se emplean para tareas vinculadas con la producción de bienes de origen manufacturado en fábricas o industrias. Las aplicaciones más habituales son:

- Paletizado
- Soldadura
- Carga y descarga
- Montaje
- Aplicación de materiales
- Inspección de productos
- Procesado
- Corte

2.4.1. SECTORES DE APLICACIÓN

Dentro de las aplicaciones tradicionales de los robots en los sectores manufactureros cabe destacar las siguientes:

➤ Industria de automoción

El sector automovilístico es el primer consumidor de robots y de sistemas de automatización. La automatización en este sector está orientada a maximizar la productividad, la calidad y la seguridad. La carga de herramientas pesadas y la permanencia en entornos peligrosos han sido sustituidas por trabajos de supervisión y mantenimiento. De hecho, es uno de los sectores con menor grado de siniestralidad.

Uno de los sectores en los que más se han volcado tradicionalmente los fabricantes de robots y automatismos ha sido en el proceso de fabricación de automóviles. Alrededor del 25% de todos los robots instalados en el sector de automoción se dedica a la soldadura de carrocerías y diversas piezas, bien sea

por puntos o por arco. Otra aplicación importante es el ensamblado de subconjuntos, tales como motores, lunas, depósitos, ruedas, embellecedores externos, etc. Se estima que al menos el 20% de todas las aplicaciones de ensamblado está robotizado en la industria del automóvil. La pintura de las carrocerías está totalmente robotizada en la mayoría de las factorías.

Por otro lado, las aplicaciones de transporte y manipulado también están robotizadas casi en su totalidad. Las aplicaciones más típicas son paletización de producto en almacenes y buffers (almacenes intermedios), y la alimentación de máquinas (prensas de chapa, máquinas-herramientas, autoclaves, etc.). [12]



Figura 19. Robot ABB de pintura para automoción.

➤ **Industria química**

La industria química es la parte más representativa de la industria de control de procesos, cuyas variables físicas son casi todas continuas. No obstante, sea cual sea el sector, el proceso básicamente consiste en la manipulación de materias primas, la reacción química propiamente dicha, la separación primaria de los productos, la separación posterior de productos líquidos o sólidos y la purificación del producto final.

Debido al número elevado de variables físicas que hay que controlar y supervisar en un proceso químico, los sistemas de control son de arquitectura distribuida. Esto implica una arquitectura hardware en la que cada ordenador se encargue de adquirir, a través de sensores, la información necesaria para cerrar el bucle de control local y de comunicarse con otros ordenadores. [12]



Figura 20. Sistema de extracción automático

➤ **Industria cerámica**

Las principales aplicaciones de la automatización de la producción se centran en la automatización de máquinas y procesos. Una de las áreas de automatización prioritarias es el transporte y almacenamiento de piezas delicadas, para lo que se necesitan equipos de paletización termoventilados basados en robots de pórtico con ruedas, que permiten el llenado de las cajas, el etiquetado, la aplicación de flejes y el paletizado final. [12]

➤ **Industria textil**

La fabricación cuenta ya con un alto nivel de automatización pero la utilización de robots en esta industria está muy limitada, centrándose casi exclusivamente en aplicaciones de paletizado y manipulado. Una de las aplicaciones robóticas más novedosas es el manipulado de telas para su posterior cosido automático. [12]



Figura 21. Máquina de coser computerizada

Otro tipo de industrias, como la electrónica, la industria de plásticos o la de metales, están innovando en sus procesos industriales y también utilizan este tipo de maquinas o robots que permiten automatizar estos procesos de una forma más flexible.

3.4.2 APLICACIONES INNOVADORAS

A continuación se presenta una visión general de las aplicaciones innovadoras de los robots en nuevos sectores.

➤ *Construcción*

El nivel de automatización en esta industria sigue siendo uno de los más bajos entre los sectores productivos, siendo todo el proceso muy convencional y manual. En este sentido, resulta un sector prioritario de innovación en el ámbito de la automatización y robotización, más aún si se tienen en cuenta los resultados críticos de seguridad y las condiciones de trabajo que se dan en el sector. Se pretende acercar la construcción a la industria manufacturera, sobre todo a la del automóvil. La idea fundamental es tratar las obras, sobre todo los edificios, no como singulares, sino como elementos fabricados (o prefabricados) en serie. [13]



Figura 22. Robot de edificación

➤ *Agricultura*

La agricultura tiene en general un aceptable nivel de automatización, sobre todo en lo relacionado a los cultivos de grano. En estas aplicaciones la mayoría de las operaciones necesitan el uso masivo de mano de obra.

Se han desarrollado aplicaciones para los procesos de sembrado, riego, abonado, fumigación y recolección donde las diferentes máquinas que intervienen están equipadas con sensores y sistemas GPS que les permitan generar amplios mapas de estado de las plantaciones durante todo el ciclo de la cosecha. La recolección de frutas, verduras y cereales es el segundo gran grupo de aplicaciones de la robótica. [13]



Figura 23. Robot agricultura

➤ **Medicina**

La medicina y las infraestructuras médicas suelen tener un peso aproximado al 10% en el PIB de los países industrializados, lo que unido a que se trata de la salud, convierte la medicina en uno de los sectores estratégicos. La característica más destacada de la automatización de la medicina es la necesidad de una alta seguridad en las operaciones a realizar.

Otro campo de aplicación de los robots quirúrgicos es el de la traumatología. Dentro del área de rehabilitación existen actualmente dos grandes tendencias: la introducción de prótesis activas controladas por ordenador, y la colocación de sensores internos para estimulación del paciente. La tercera área de aplicación corresponde a la automatización de la producción de prótesis personalizada. [13]

➤ **Industria aeroespacial**

La industria aeronáutica cuenta con los niveles tecnológicos más elevados. Una de las líneas de investigación más importantes en la robótica aeronáutica son los Vehículos Aéreos No-tripulados (UAV). En la parte de fabricación de aeronaves, la tendencia más moderna es la utilización de piezas de materiales compuestos, sobre todo fibra de carbono. El proceso de fabricación de estas piezas es tradicionalmente manual. En algunas factorías estas operaciones están robotizadas. Otra de las importantes actividades espaciales en tierra es el entrenamiento de los astronautas (cosmonautas). Una de las operaciones terrestres más ligadas a la robótica es la

teleoperación y telepresencia tanto de naves como de robots espaciales. La robótica espacial tiene su máximo exponente en la exploración planetaria mediante robots móviles (rovers). [13]



Figura 24. Robot "rover" de teleoperación y telepresencia

2.5 EUROBOT

Creado en 1998, *Eurobot* es una competición internacional de robots de ámbito amateur en el que participan grupos organizados de jóvenes de todos los países europeos, ya sea en proyectos universitarios o en clubs independientes. Se celebra todos los años a finales de Mayo en Europa, dando la bienvenida cada año a estudiantes llegados de otros continentes.



Figura 25. Logotipo EUROBOT 2010

Este certamen surgió en Francia, con la celebración de la *Copa de Francia* a mediados de los 90. Posteriormente se formó allí mismo la competición que hoy conocemos con el nombre de *Eurobot* y se celebró allí hasta 2003. A partir de este año se ha ido alternando la sede organizadora: un año en Francia y otro año en algún lugar europeo, y así sucesivamente.

La idea principal es dar a conocer esta disciplina y aumentar el interés por la robótica, permitiendo el encuentro entre estudiantes de todos los lugares del mundo, para promover la participación y el interés por la ciencia.

En 2004, se instauraron las clasificaciones nacionales en los 21 países participantes, reuniendo a 205 equipos. Estas pretenden clasificar para la final europea a los tres mejores equipos de cada país, y usualmente se celebran dos o tres semanas antes que dicha final.

En España, esta clasificación se realiza mediante un torneo denominado “HISPABOT” celebrado en la universidad de Alcalá. En dicho evento se realizan además otras pruebas de microrobots como son sumo, velocistas, laberinto y robocup junior. Todas las disciplinas están orientadas a un único objetivo: escoger los mejores robots entre las universidades participantes de toda España para facilitar de forma económica con diferentes premios, la participación en Europa.

2.5.1 EDICIONES ANTERIORES

La principal característica de este concurso es su innovación. Cada año se se renuevan las reglas y se proponen dificultades nuevas que obligan a implementar novedosos sistemas de locomoción, recogida y localización así como diseñar una nueva estructura externa, y plantear estrategias para que el robot consiga su objetivo de la forma más eficiente posible.

A continuación se va a hacer una breve presentación de las ediciones anteriores del *Eurobot*:

➤ 1998.- Fútbol

Este año la competición consistía en simular un partido de futbol posicionando 8 pelotas de tenis a lo largo del campo. El objetivo era introducir el máximo número de

bolas en la portería contraria. Como en un partido de futbol, el robot que marcara más goles se llevaba la victoria y así pasaría de ronda (el formato del torneo era *eliminatorias*). Se presentaron nueve equipos de cinco países diferentes.

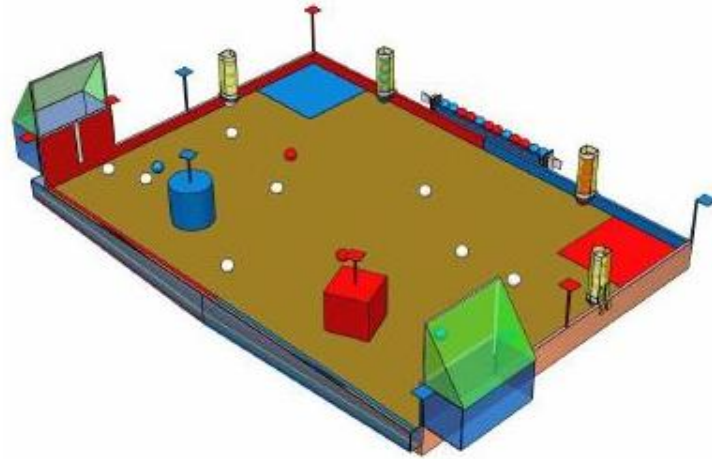


Figura 26. Campo de juego EUROBOT 1998

➤ **1999.- Ataque al castillo**

El objetivo del juego era derribar el castillo de contrario por contacto directo o mediante el lanzamiento de pelotas de tenis que se encontraban repartidas por el campo. Este está dividido en dos partes de las mismas dimensiones y unidas por dos puentes que se alzaban encima de una zanja a modo de “barranco” con el que se delimitaba claramente cada zona. Los castillos, uno por equipo y colocados en la zona correspondiente, estaban contruidos con cilindros de madera que simulaban “torres”. En esta ocasión se presentaron ocho equipos de cinco países diferentes.

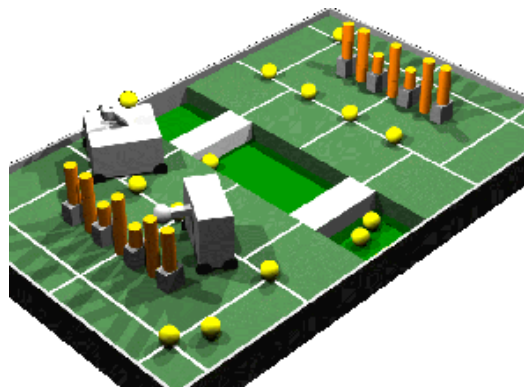


Figura 27. Campo de juego EUROBOT 1999

➤ **2000.- Parque de atracciones**

La dificultad consistía en una pista montañosa dividida en 2 partes con 10 globos de pie en cada una de ellas: 5 azules y 5 amarillos. Cada equipo tenía que explotar los globos del contrario en el lado opuesto del terreno de juego. El uso de proyectiles estaba prohibido bajo penalización y la limitación impuesta en el tamaño máximo del robot no le permitía hacer estallar los globos desde lejos. Se presentaron 12 equipos procedentes de siete países europeos diferentes.



Figura 28. Campo de juego EUROBOT 2000

➤ **2001.- Odisea en el espacio**

Este año se trataba de conquistar el mayor número de planetas del equipo contrario en 90 segundos. La forma de representar una conquista de un planeta se realizaba mediante la colocación de una bandera del color propio. Para esta edición se inscribieron diecinueve equipos.

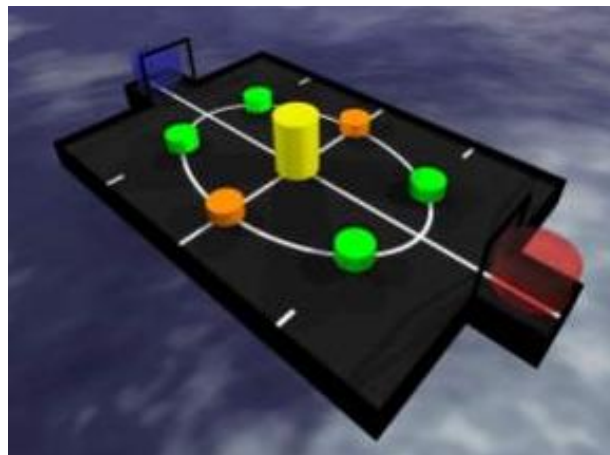


Figura 29. Campo de juego EUROBOT 2001

➤ **2002.- Billar aéreo**

En esta edición se simuló un billar. El objetivo era introducir las bolas de color negro en los huecos de su lado y bolas rojas en el lado del equipo contrario. Para ello, se colocaron 8 bolas negras y 4 negras aleatoriamente por un campo plano. En esta ocasión la participación ascendiendo, llegando a veintisiete inscripciones de países distintos.

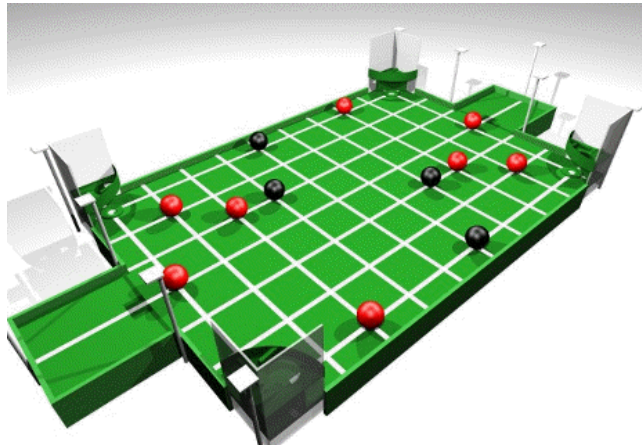


Figura 30. Campo de juego EUROBOT 2002

➤ **2003.- Cara o cruz**

Cada equipo tenía que intentar dar la vuelta a cada disco y apoyarlo sobre la cara contraria a la que estaba inicialmente. Sobre un campo rectangular se colocaron discos con caras de diferente color (rojas y verdes) y se disponía de noventa segundos para voltear el mayor número de fichas. En esta ocasión no había limitaciones en la estrategia. Se llegaron a presentaron treinta y dos equipos de diecinueve países distintos.

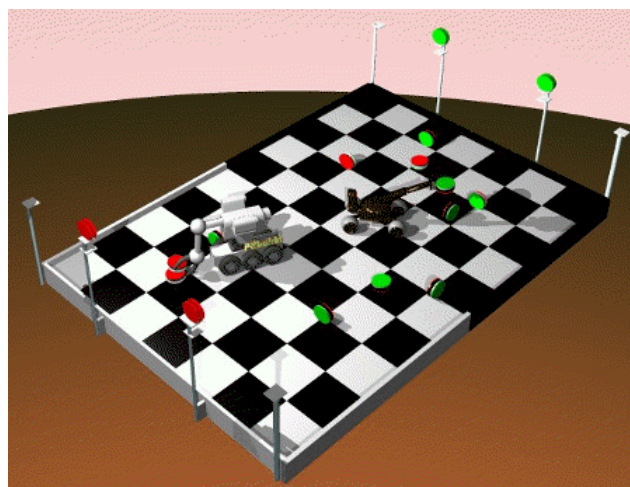


Figura 3137. Campo de juego EUROBOT 2003

➤ **2004.- Rugby de cocos**

En esta edición se simuló un campo rectangular y plano con palmeras cargadas de cocos y 2 porterías que tenían la peculiaridad de estar elevadas respecto al suelo utilizando como postes las palmeras. Se trataba de introducir el máximo número de cocos, repartidos en las palmeras y en el suelo, en la portería correspondiente. Se inscribieron cuarenta y un equipos de veintiún países distintos.

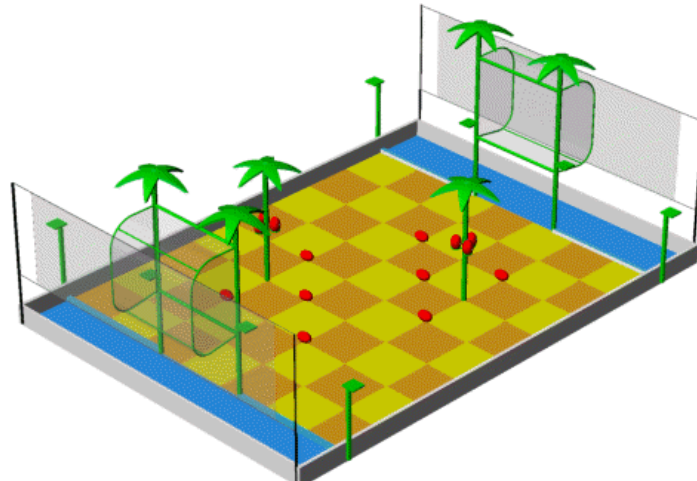


Figura 32. Campo de juego EUROBOT 2004

➤ **2005.- Bolos**

En esta ocasión se simuló un tablero a modo de “pista de bolos”. El objetivo consistía en tirar los bolos del rival mediante una pelota situada en mitad de la pista. El campo estaba dividido en dos zonas unidas a través de diversos puentes utilizados como canales para deslizar la pelota y así derribar los objetos rivales.

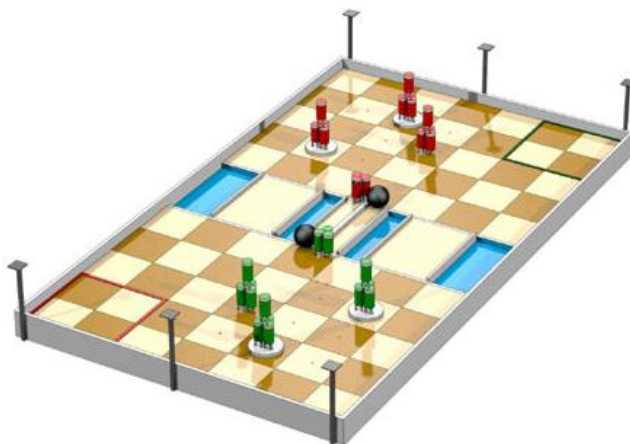


Figura 33. Campo de juego EUROBOT 2005

➤ **2006. Minigolf**

Este año se pretendía simular un tablero con muchos agujeros de distintos colores (rojo y azul) a modo de “campo de gol”. El objetivo era introducir el mayor número de bolas blancas en los agujeros de tu color. Las bolas se podían recoger por el camino o en los dispensadores dispuestos en las esquinas del campo. Cincuenta y cinco equipos se presentaron a este concurso.

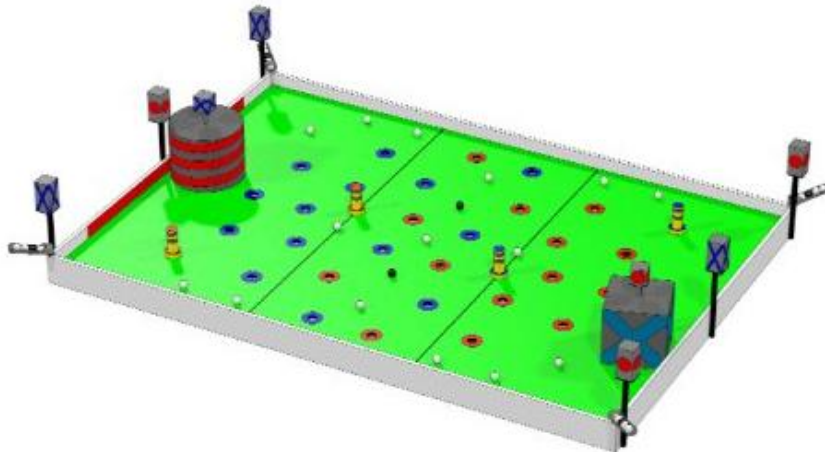


Figura 34. Campo de juego EUROBOT 2006

➤ **2007. Rally de reciclado**

En esta edición se buscaban robots recicladores que debían llevar la basura recogida a los contenedores de reciclaje adecuados. Esta basura estaba formada por botellas de plástico, latas de refresco y pilas, y los contenedores de reciclaje se dividían en cuatro porterías, dos por equipos, en las que se debía reciclar las latas y botellas y una cesta común donde se reciclarán las pilas. Este año se presentaron cincuenta y siete equipos de veintisiete países diferentes.

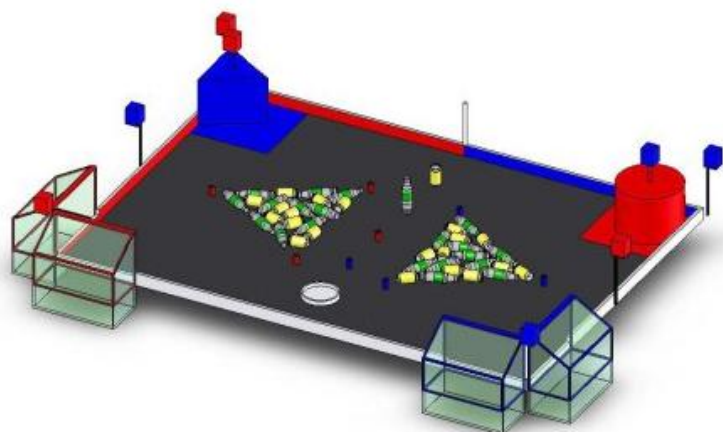


Figura 35. Campo de juego EUROBOT 2007

➤ **2008.- Misión a Marte**

En 2008, el contexto del concurso de nuevo fue el espacio. El objetivo era recoger objetos en Marte y llevarlos a la Tierra para ser analizados. Se trataba de coger tanto las “muestras” (bolas rojas y azules) como los “hielos” (bolas blancas) y depositarlas en la portería correspondiente a cada equipo o en un recipiente horizontal común para los dos equipos situado en uno de los laterales del tablero. La combinación entre muestras y hielo otorgaba más puntuación. En esta ocasión se presentaron 57 equipos llegados de todas las universidades de Europa.

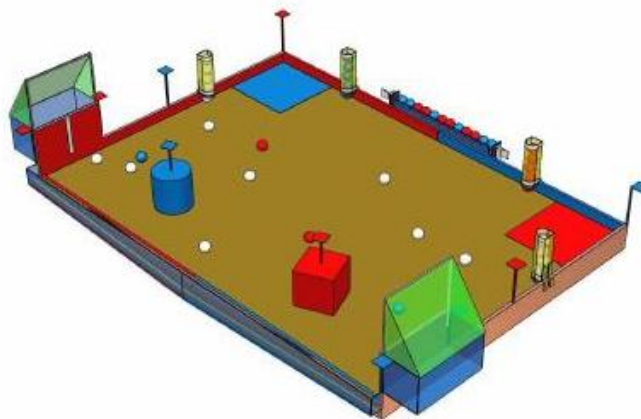


Figura 36. Campo de juego EUROBOT 2008

➤ **2009.- Templos de la Atlántida.**

En la edición del año anterior se propuso como juego construir torres con diferentes piezas como si fueran edificios. El objetivo era la construcción de “Los templos de la Atlántida”. Para ello el robot de cada equipo debía recoger las piezas cilíndricas de los dispensadores y apilarlas en las zonas destinadas a ello. El equipo que hiciera las torres más altas ganaba el partido.



Figura 37. Campo de juego EUROBOT 2004

➤ **2010.- Feed the World**

En la presente edición, el objetivo es recoger los distintos elementos de juego (comida, fruta y vegetales) y depositarlos en la portería correspondiente a cada equipo.

En los capítulos posteriores se estudia con más detalle todo lo relacionado con el concurso de este año, limitaciones y dificultades del campo donde se jugará así como la normativa impuesta. Además se describe el proceso de modelado y los distintos sistemas que dieron vida a FLUX CAPACITOR.



Figura 38. Logotipo EUROBOT 2010



3. PROBLEMA Y SOLUCIÓN

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

3.1.1 INTRODUCCIÓN

La finalidad de este proyecto es el diseño, construcción, preparación y montaje de un robot capaz de concursar y competir en la presente edición del EUROBOT 2010, que este año se identifica con el nombre de *“Feed The World”*.

Aquí los robots deberán buscar y recoger comida, fruta o vegetales, lo que vayan encontrando en su camino. Tendrán que almacenar todo lo que puedan en un contenedor para redistribuirla posteriormente a los más necesitados.

Los partidos siempre constarán de 2 equipos, uno representado por el color azul y otro por el amarillo. Cada robot arrancando desde su zona de salida, deberán moverse por el tablero buscando los diferentes elementos de juego y conseguir, después de los 90 segundos de duración, una provisión mayor que el contrario. El equipo que consiga mas puntuación es el que se alzará con la victoria.

Existen 3 clases de objetos que se pueden coger: naranjas, tomates y mazorcas. Cada uno tiene una puntuación asignada en función de su localización, su dificultad para ser recogidos y su masa. La comida que más pesa, las naranjas, será la que más puntos otorgue al equipo que sea capaz de recogerlas. Por el contrario, los tomates son los elementos más livianos y los que menos puntuación dan. Toda la comida repartida por el tablero es susceptible de ser recogida por ambos equipos sin restricciones.

3.1.2 ELEMENTOS DE JUEGO

- ***Campo de juego***

Consiste en un tablero rectangular de dimensiones de 3000x2122 mm². Cuenta con dos contenedores donde se depositará toda la “comida” recogida, en las esquinas enfrentadas a las de las zonas de salida. Estos están colocados al mismo nivel del tablero, por lo que los objetos caen por su propio peso al llegar a esa zona sin necesidad de ninguna maniobra complicada. Además cada robot tiene asignado el suyo dependiendo del color que elija en cada partido. [4]

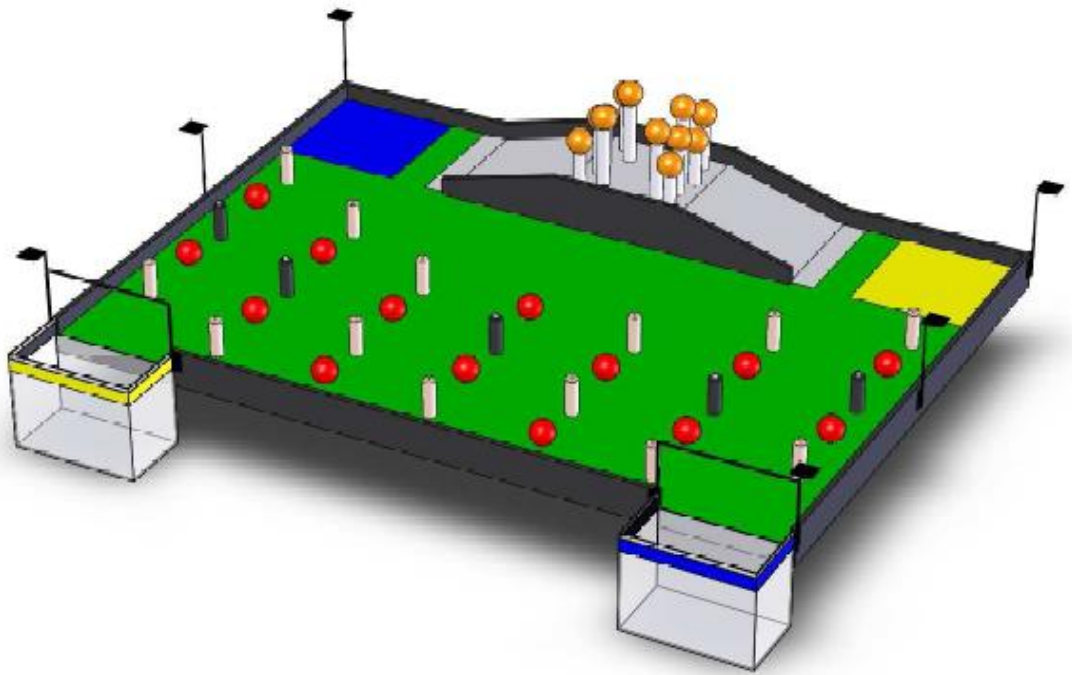


Figura 39 .Campo de juego EUROBOT 2010

- **Zona elevada (rampa)**

En el espacio situado entre las dos zonas de salida se encuentra el único área elevada expuesta este año en el concurso. Se trata de un trapecio tridimensional con 2 rampas simétricas respecto del plano que corta transversalmente (al trapecio) por la mitad. En lo alto de las dos pendientes, encontramos una zona plana donde se sitúan los apoyos que sujetan las naranjas, simulando “árboles”, como se aprecia en la siguiente figura. [4]

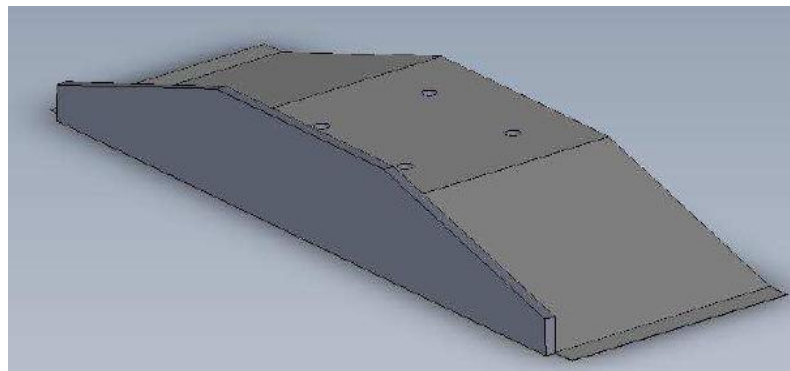


Figura 40. Rampa zona de naranjas

A pesar de que no existe distinción entre las naranjas que pueden recoger uno u otro equipo, disponemos de dos conjuntos de “árboles” bien diferenciados, para facilitar la recogida de uno y otro equipo y así evitar colisiones en un área tan delicada. Además están situados cerca del borde donde se produce el cambio de nivel del terreno, con una separación entre ellos lo suficientemente grande para no entorpecer las maniobras del robot contrario. En el apartado posterior se expondrá un plano detallado de la situación de las pelotas naranjas.

- **Soportes**

Fuera del perímetro exterior del área de juego, encontramos unos postes sosteniendo bases rectangulares que denominamos soportes. Como peculiaridad, en su cara más elevada, presentan un material rugoso (normalmente *velcro*), permitiendo la colocación de balizas que sirven de ayuda al robot para posicionarse o localizar elementos especiales del juego. Se elevan 350mm sobre el tablero. [4]

En total contamos con seis soportes que se encuentran colocados en ambos laterales y dispuestos según se muestra en la figura siguiente.

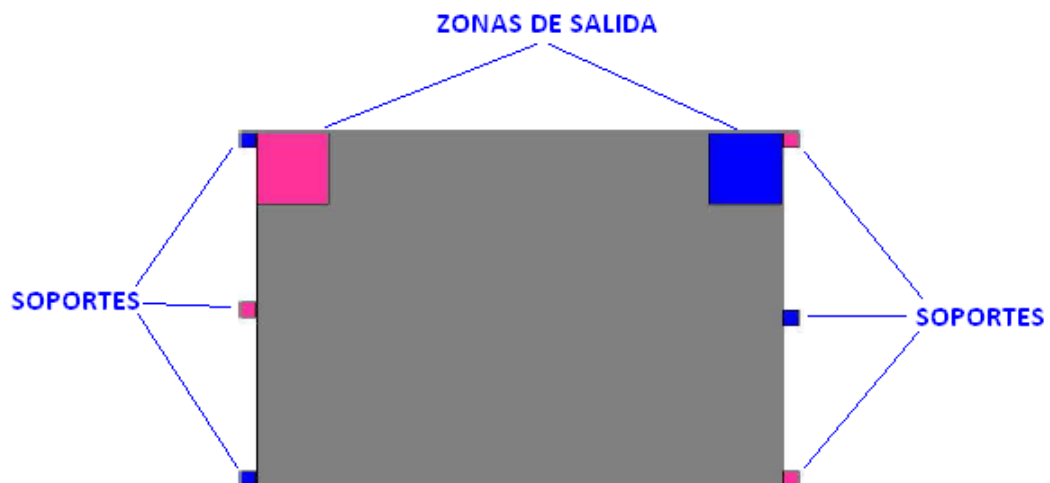


Figura 41. Disposición de soportes

- **Elementos dispensados**

Como hemos comentado en anteriores apartados, los robots pueden recoger diferentes elementos en su camino al contenedor donde depositan la comida: tanto los tomates como las naranjas y mazorcas están colocados de forma organizada en

todo el tablero y puntúan de una forma diferente. A continuación vamos a dar una breve explicación sobre la situación y la puntuación que conceden cada uno de ellos:

➤ **Tomates**

Están representados por pelotas rojas de malabares de 100mm de diámetro. Situados de una forma organizada a lo largo y ancho de todo el tablero, son posiblemente los elementos de mas fácil acceso ya que en la trayectoria al depósito de comida es prácticamente inevitable no cruzarte con alguno de ellos.

Se encuentran siempre situados entre mazorcas, concretamente en la mitad de la línea que une dos de ellas, ya sean fijas o no, tanto a lo largo como a lo ancho. En total existen 14 ejemplares de tomate.

Su puntuación va acorde a su peso (150 gramos), por lo que por cada tomate recogido el equipo consigue 150 puntos. En la figura siguiente se muestra la disposición de estos elementos en el tablero: [4]

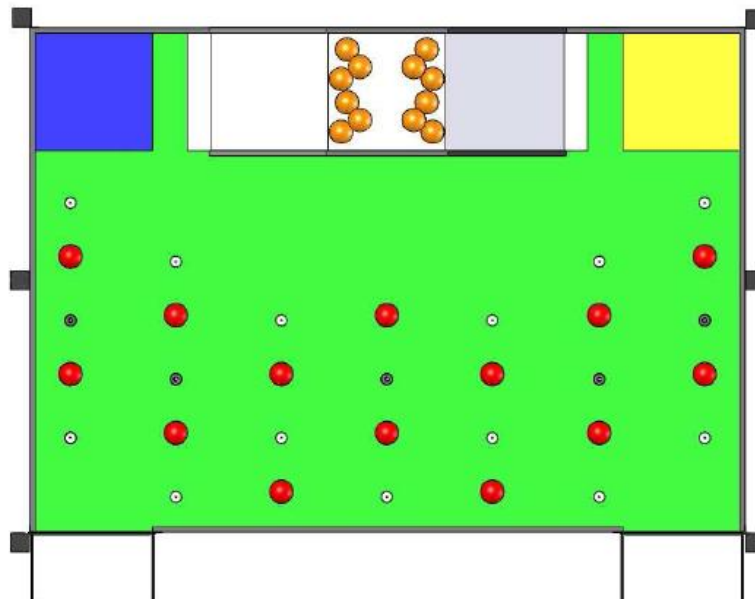


Figura 42. Disposición de tomates en el campo de juego

➤ **Naranjas**

Están representadas por pelotas naranjas de malabares del mismo material y diámetro que los tomates, es decir, 100 mm. En total contamos

con doce naranjas. La peculiaridad que presentan es que su captura es más complicada por varias razones:

En primer lugar, su peso varía con respecto al caso anterior. Los 300gramos de cada bola requieren un sistema de recogida más robusto y con mayor capacidad de carga.

En segundo lugar, se encuentran colocadas en la zona elevada del tablero, por lo que el acceso se hace más complicado. Es necesario subir por una de las rampas para alcanzarlas. Aunque todas las naranjas pueden ser recogidas por los dos equipos indistintamente, y todas poseen las mismas características, existen dos grupos de seis naranjas cada uno para que el acceso sea más sencillo dependiendo del color o de la zona donde nos toque salir, como se puede apreciar en la figura anterior. [4]

En último lugar, cabe destacar que las naranjas se encuentran encima de los “árboles”, es decir, no se sitúan a nivel del suelo de la zona elevada, sino que están sujetas por apoyos cilíndricos que las proporcionan cierta altura. Además esta altura varía siguiendo la siguiente disposición para cada grupo de “árboles”, en función de la distancia al borde de la rampa:

Distancia al borde de la rampa (mm)	Altura (mm)
30 (<i>cercanas</i>)	150
80 (<i>medias</i>)	200
135 (<i>lejanas</i>)	250

Tabla 4. Medidas soportes de las naranjas respecto de la rampa

En la siguiente figura se muestra gráficamente su disposición y un plano detallado del perfil de la rampa con las medidas exactas:

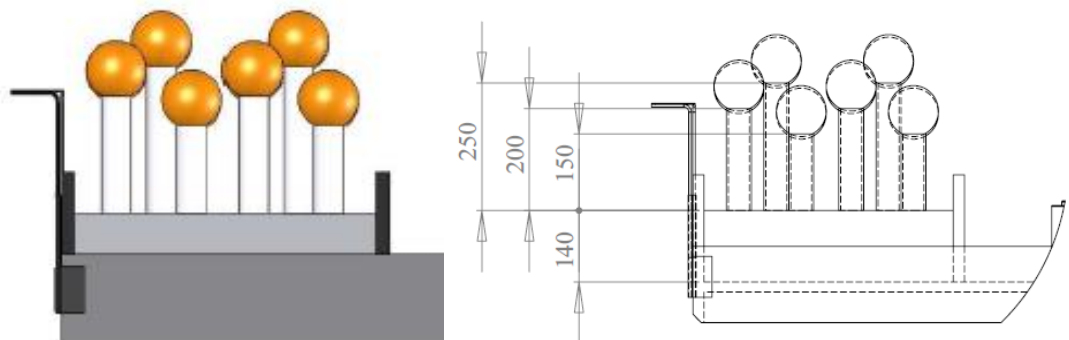


Figura 43. Perfil de los soportes de las naranjas y sus dimensiones

➤ **Mazorcas de maíz**

Es el último elemento de juego de los 3 mencionados anteriormente que se puede recoger para obtener una mayor puntuación. Están representadas por cilindros de polipropileno. No se encuentran simplemente apoyados sobre el tablero, sino que presentan unos salientes en sus extremos, que se insertan en los agujeros del campo para permanecer de forma vertical.

En total disponemos de 17 mazorcas en el campo de juego. Sin embargo, 4 de ellas permanecen inmóviles, resultando imposible desplazarlos o empujarlos. Actúan como postes dificultando en exceso la trayectoria de los robots. Estas “falsas mazorcas” están pintadas de color negro para diferenciarlas del resto, representadas por color perla. [4]

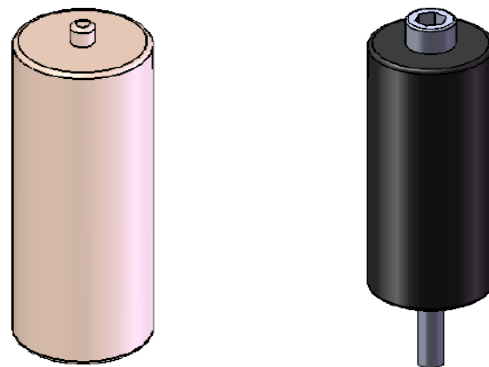
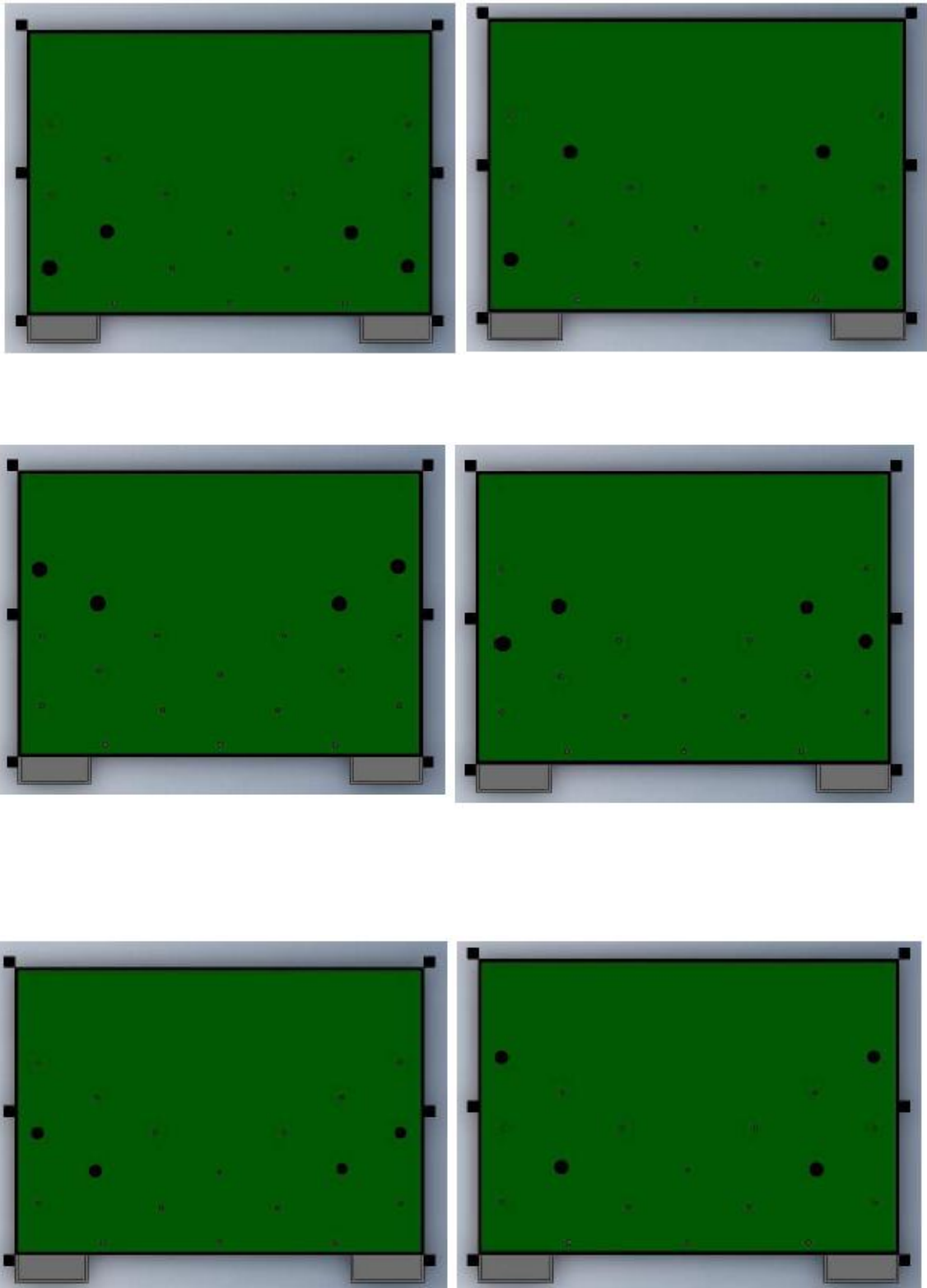
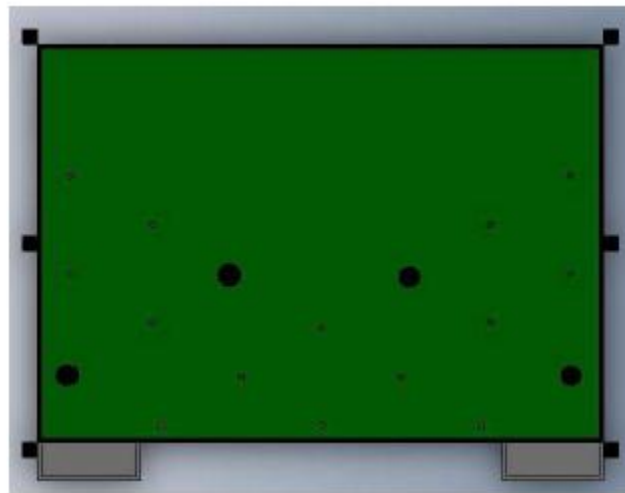
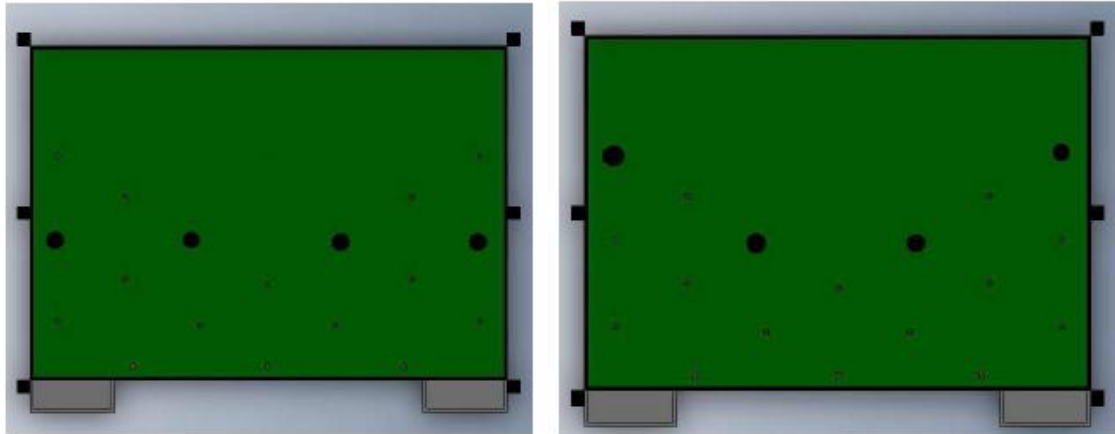


Figura 44. *Mazorcas fijas y móviles*

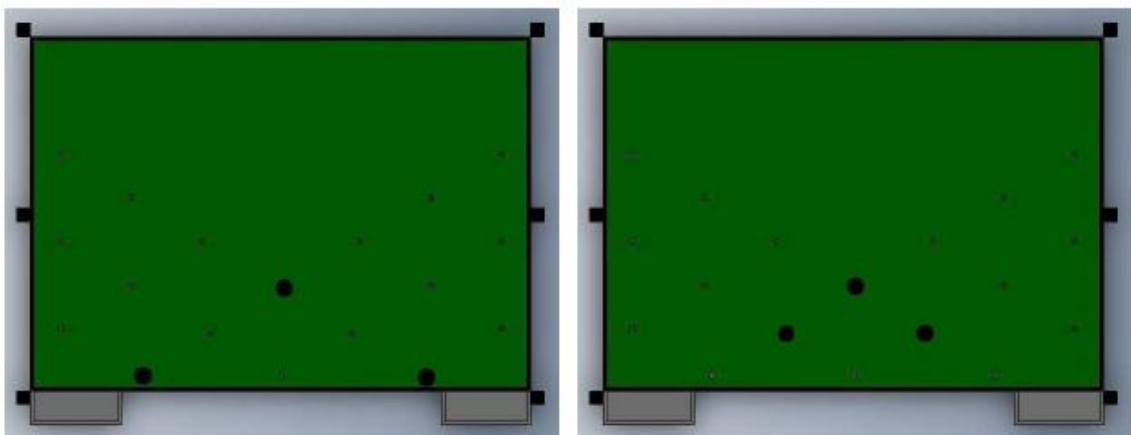
Además su disposición es aleatoria y varía de un partido a otro. Existen dos tipos de configuraciones, las que únicamente presentan mazorcas en los laterales y las que disponen de alguna mazorca en la parte central. Las “falsas” están representadas por los puntos negros, siendo las posibles disposiciones sobre el tablero de la siguiente manera:

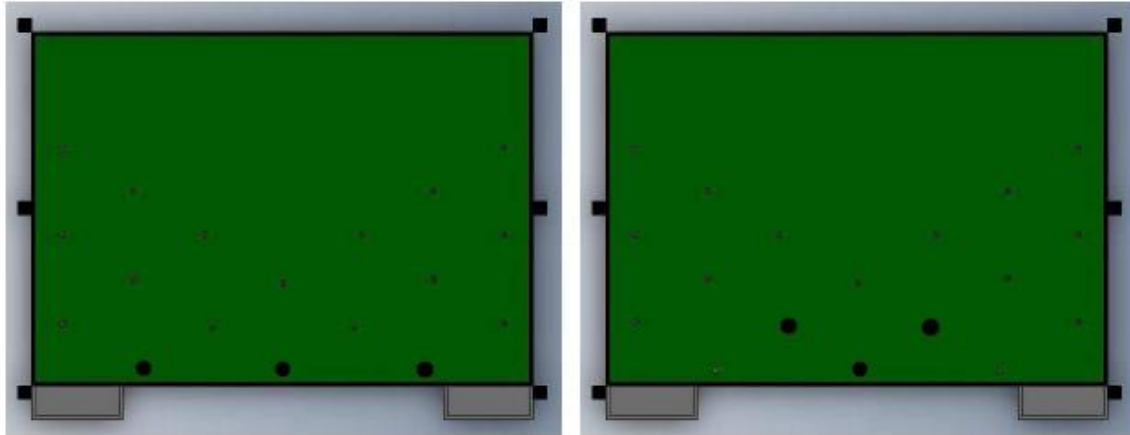
➤ Configuraciones de las mazorcas en los laterales del tablero





➤ Configuraciones de las mazorcas en el centro del tablero





Cada vez que un equipo consiga introducir en su contenedor uno de estos objetos se premiará con 250 puntos.

En la siguiente figura se muestra una simulación del campo con todos los elementos descritos anteriormente:

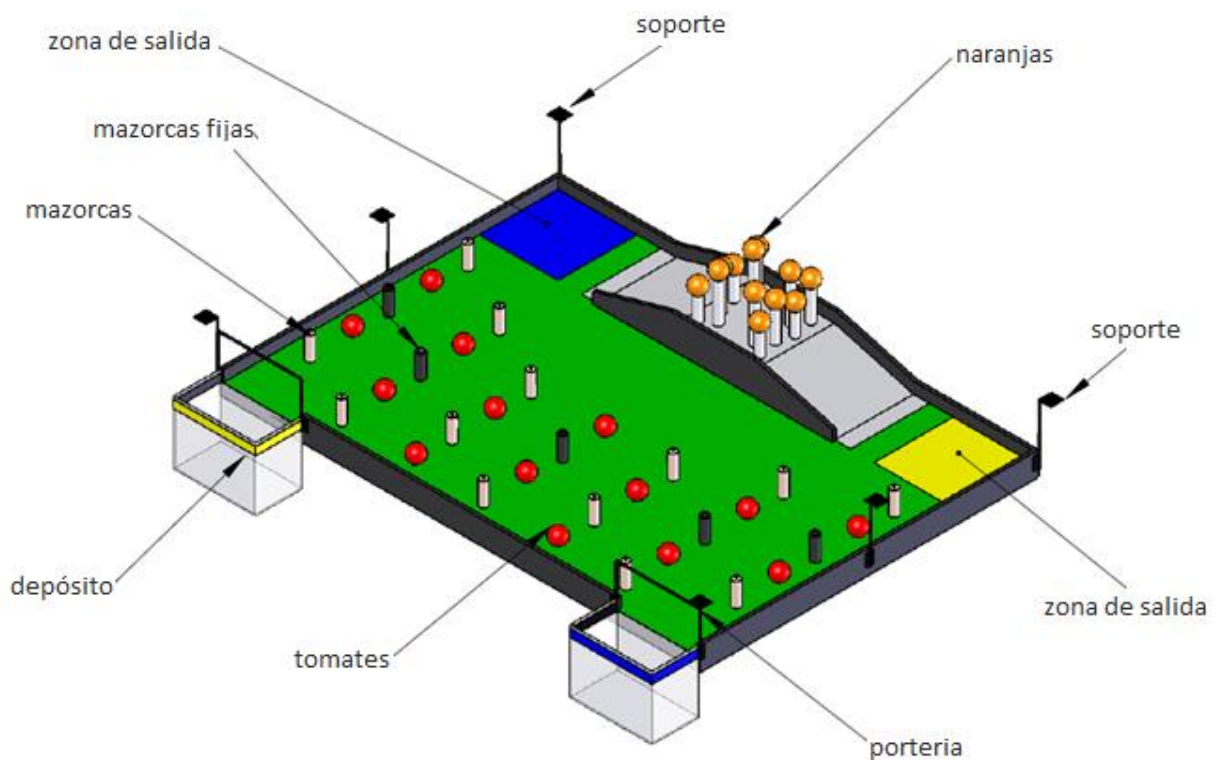


Figura 45. Elementos del campo de juego

3.1.3 LIMITACIONES GENERALES Y DIMENSIONALES

En el seno de la competición, la organización siempre aboga por el *fair-play* entre los robots participantes, por ello exige ciertas normas de seguridad. Su incumplimiento puede ocasionar sanciones, incluso llegando a la expulsión. A continuación nombraremos las que consideramos más importantes:

- Bloquear el acceso al contrario a una zona o a un elemento del juego.
- Utilizar materiales de colores para equivocar al robot contrario.
- Causar daño intencionado de manera intencionada a tu oponente.
- Provocar vibraciones sobre el tablero.

Sin embargo uno de los aspectos que contienen mayor importancia y que exige ser muy estricto al respecto son las dimensiones que debe cumplir el robot.

La altura no puede ser superior a 350mm, teniendo ya en cuenta el soporte obligatorio que debe llevar el robot para la posible ubicación de alguna baliza por parte del equipo contrario para localizarse entre sí.

Respecto al perímetro, existen dos limitaciones fundamentales. En el inicio del partido este está restringido a 1200mm. En el momento que empieza a correr el tiempo, tenemos la opción de desplegar nuestro robot ganando 200mm más, hasta un total de 1400mm, siempre y cuando no sean elementos punzantes que puedan dañar al contrario. Además hemos de tener en cuenta que los elementos recogidos durante el partido no se tienen en cuenta en esta medida. [4]

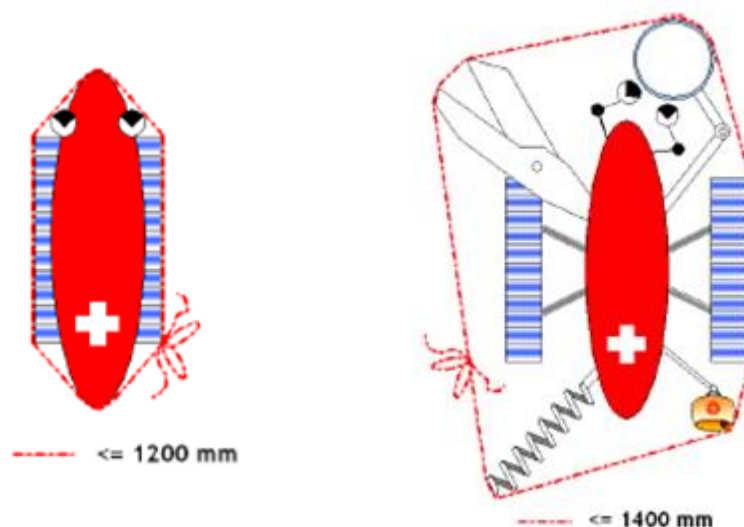


Figura 46. Medidas aceptadas del perímetro

3.1.4 DESARROLLO DEL PARTIDO

Cada partido tendrá como protagonistas a 2 robots, uno por equipo, representados respectivamente por el color azul y por el amarillo. Estos se colocarán y orientarán de forma manual en cada una de las zonas de salida en la posición elegida, pero nunca se podrán rebasar los límites de dichas zonas, ni en los puntos de contacto de los robots con el tablero ni las proyecciones de los salientes que puedan tener en la estructura.

Cada enfrentamiento durará 90 segundos. En este tiempo cada equipo deberá recoger el máximo número de objetos “comestibles” que encuentre y depositarlo en el correspondiente contenedor. No se tendrán en cuenta los objetos que una vez transcurrido el tiempo de juego, queden dentro o sujetos por el robot. [4]

Las puntuaciones varían en función del tipo de “comida” que se obtenga. En la siguiente tabla se exponen los valores estipulados para cada objeto:

OBJETO	PUNTOS
<i>Tomates</i>	150
<i>Mazorcas de maíz</i>	250
<i>Naranjas</i>	300

Tabla 5. Puntuación por objetos “comestibles”

También existen penalizaciones por realizar acciones entendidas que no fomenten el “juego limpio” o “fair play” tales como:

- Obstaculizar al contrario de manera intencionada.
- Salir del tablero de juego (en este caso, no se podrá volver a entrar y habrá que dejar finalizar el tiempo al equipo contrario)
- Empujar al contrario para sacarlo del tablero.

Se dará por finalizado el partido en el momento que pasen los noventa segundos. Si un robot no es capaz de pararse por si mismo, el árbitro pulsará “la seta de emergencia”.

3.1.5 DESARROLLO DE LA COMPETICIÓN

El torneo consta de dos partes. En la primera parte, todos los equipos estarán distribuidos en grupos. Todos los robots del mismo grupo se enfrentaran entre sí a modo de ligulla. Como excepción, en este tramo de la competición se premia con puntos adicionales por la consecución de victorias o empates de la siguiente forma:

PARTIDOS	PUNTOS
<i>Victoria</i>	200
<i>Empate</i>	100
<i>Derrota</i>	50

Tabla 6. Puntuación por resultado en cada partido

Una vez valoradas las puntuaciones, los dieciséis mejores, es decir, con mayor número de puntos en su casillero, pasarán a la “parte dos” o ronda final, donde se enfrentarán en formato de eliminación directa hasta la final, como demuestra el diagrama siguiente: [4]

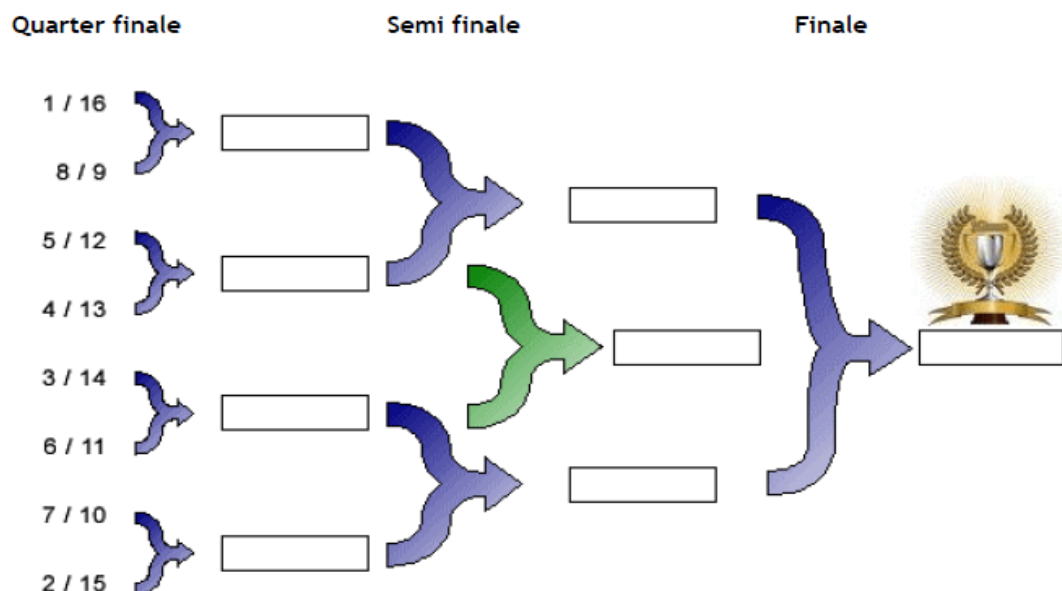


Tabla 7. Cuadro de eliminatorias concurso EUROBOT

3.2 SOLUCIÓN PROPUESTA

En las primeras reuniones del grupo, conocidas las normas del concurso, se valoró qué queríamos hacer y cómo deberíamos desarrollarlo. Se decidió diseñar y construir un robot eficaz, sencillo, evitando sistemas demasiado sofisticados, cuya puesta en marcha resultase complicada. Pretendíamos obtener un prototipo final con un alto grado de fiabilidad, que pudiera dar solución de una manera más o menos directa a los obstáculos que nos íbamos a encontrar. Teniendo presente la experiencia acumulada en ediciones anteriores, la principal idea era conseguir cierta cantidad de puntos seguros con independencia del rival en prácticamente la totalidad de los partidos.

En concordancia con el pensamiento anterior, la estrategia adoptada tomaba un papel fundamental, ya que de ella dependía gran parte del diseño y la arquitectura que iba a presentar el robot.

En un primer momento, se pensó que los tomates era el objeto “comestible” que mejor se adaptaba a la filosofía del equipo por su situación en el campo, por la cantidad y por la facilidad que ofrecía a la hora de recogerlos. Además, una vez descargado el primer “paquete” de tomates en el contenedor, siempre se podía volver a recoger más sin que esto supusiera una maniobra excesivamente complicada.

A continuación había que determinar el camino más rápido y sencillo para conseguir el objetivo. Dada la variabilidad de los postes o mazorcas fijas en el tablero, la trayectoria del robot no podría ser la más corta posible, es decir, atravesando en línea recta hasta el contenedor llevándose por delante todo lo que encontrara a su paso.

En principio se planteó seguir un camino en forma de Z, arrancando desde la salida, girando a la derecha o izquierda (dependiendo del color asignado al robot y por tanto del recuadro de partida) una vez rebasada la rampa. Con el robot orientado, seguir una dirección totalmente recta hasta el extremo opuesto para después volver a girar en el sentido correcto y encarar la portería de frente. Una vez allí, *Fluzo* podría zigzaguear recogiendo los tomates de la zona e introducirlos en la portería.

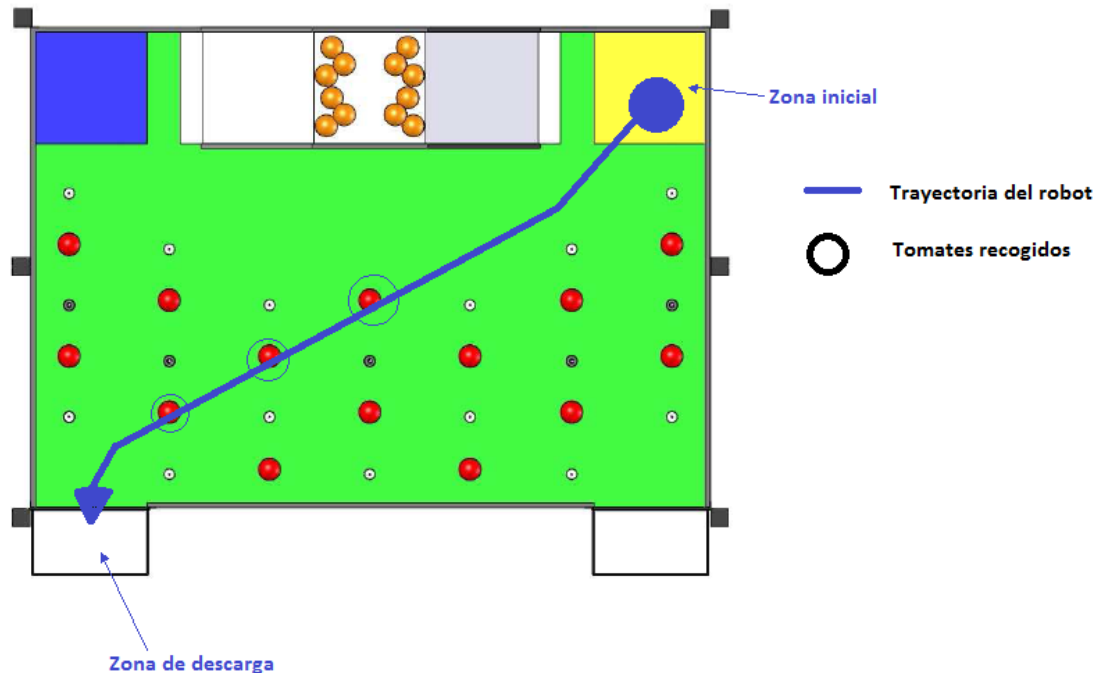


Figura 47. Estrategia inicial

Como las bolas rojas permanecían inmóviles en el tablero pero sin ningún tipo de restricción a su movimiento, simplemente el originado por su propio peso, entendimos que la forma más correcta de actuar era arrastrando las pelotas aprovechando la inercia del robot en su movimiento. Por ello, se pensó en dejar un espacio en la parte frontal a modo de “cajón” o “portería” para que los tomates se fueran almacenando a medida que el robot pasara por encima de ellos.

Aquí se nos planteó un nuevo problema. ¿Cuántos tomates seríamos capaces de coger y arrastrar hasta el depósito en un sólo trayecto? La idea inicial era obtener tres tomates. Tras analizar los planos de la base, y por consiguiente, el hueco destinado a ellos, y realizar distintas pruebas nos cercioramos de que rara vez conseguíamos seguir la trayectoria previamente definida para el robot. Había pocas posibilidades de cumplir el objetivo con éxito. La colocación de las bolas tenía que ser perfecta y en contadas ocasiones ocurría esto debido a que no existía espacio suficiente. Tras valorarlo, se decidió asegurar la consecución de puntos recogiendo simplemente dos tomates en cada trayecto. En los apartados venideros se especificarán los detalles de las dimensiones de la base, del material más adecuado a nuestras necesidades y el modo de recogida de una forma fiable mediante un sistema mecánico diseñado con servomotores.

Posteriormente se pensó que quizás este modo de actuar quedaba algo incompleto ya que en caso de dificultades terminaríamos con el marcador de puntuación a cero. Aprovechando la situación de salida, la idea de coger alguna naranja resultaba plausible. Se pensó en crear algún tipo de sistema mecánico que se pudiera adaptar con facilidad al robot, respetando siempre los límites dimensionales que imponía la organización, y así tener otras opciones en caso de que alguna fallara. El principal inconveniente para realizarlo era el lugar donde tendría que trabajar el robot. Además del mayor peso de las naranjas y de las limitaciones geométricas, el hecho de que *Fluzo* trabajara sobre el tramo inclinado (no se podía llegar a la parte plana por falta de espacio suficiente) suponía realizar un estudio previo sobre la viabilidad o la posibilidad de alcanzar las naranjas con éxito. Tras evaluarlo se decidió crear un brazo mecánico que las descolgara del "árbol" o soporte donde se sostenían y las condujera hasta el robot para almacenarlas.

La utilidad de un brazo mecánico consiste en una base y un conjunto de eslabones unidos mediante algún sistema que permita el giro relativo entre ellos. En función del número de articulaciones definimos los grados de libertad del brazo. Un grado de libertad es cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior. Al tratarse de un manipulador permite liberar, levantar, bajar y girar objetos. Normalmente está gobernado mediante un operador humano o un dispositivo lógico. [14]

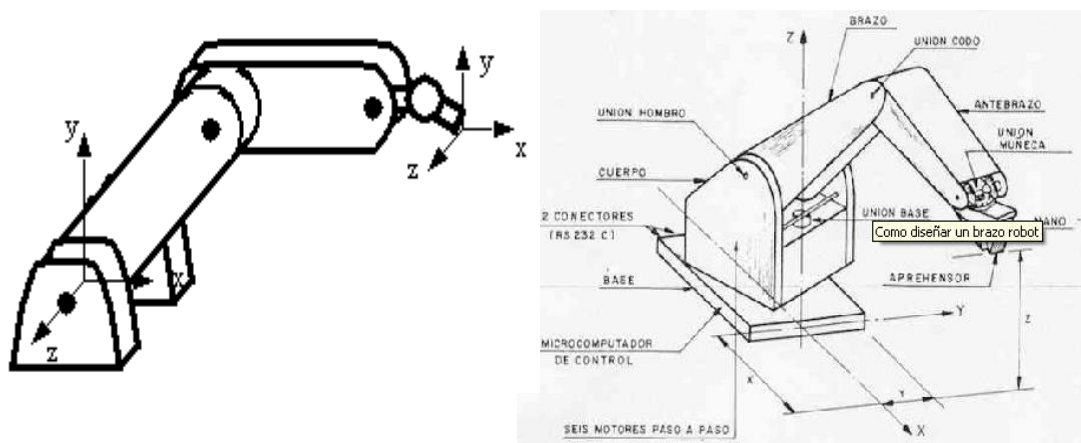


Figura 48. Brazo mecánico articulado

Nuestra idea principal, que intentamos seguir desde un principio era la de crear sistemas fiables, robustos y sencillos. En consecuencia, adaptamos toda la información recopilada en proyectos de brazos bastante más complejos para crear uno adecuado a nuestro objetivo, recoger naranjas.

En el primer prototipo se definió la forma que debía presentar el brazo. Era condición indispensable cumplir que la anchura entre los dos raíles fuera mayor que el diámetro de los soportes de las naranjas, dejando siempre cierta holgura para estar del lado de la seguridad. Además, en la posición en la que el brazo estuviera extendido habría que medir con mucha precisión el perímetro.

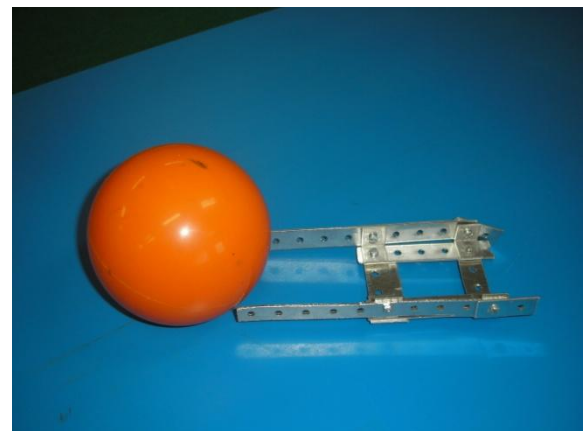
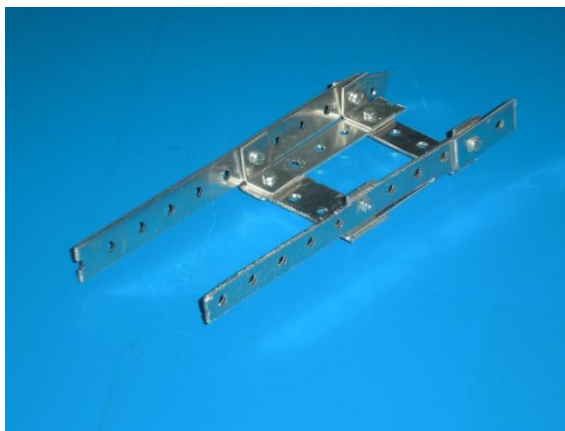


Figura 49. Prototipo inicial recoge-naranjas

Las primeras valoraciones para incorporarlo fueron positivas. Este nos daba una posibilidad más de conseguir puntos extra, sin que su ubicación y su funcionamiento entorpeciesen a los demás sistemas de recogida.

A medida que se iban realizando simulaciones posteriores se fueron planteando las características y las especificaciones técnicas que iba a presentar el brazo en su prototipo final, tales como: los grados de libertad, las dimensiones, las uniones entre eslabones, los esfuerzos que podía llegar a realizar y el modo de accionamiento de éste. En los capítulos posteriores se realizará un estudio más profundo de cada uno de los puntos nombrados anteriormente.

Otro aspecto destacable es la estructura final del robot. El diseño estructural es una tarea crítica ya que el chasis o estructura interna del robot debe sustentar todo el conjunto. Alguno de los factores a tener en cuenta a la hora del diseño es la forma, peso, robustez, volumen o flexibilidad para añadir distintos elementos a posteriori, con el fin de realizar ampliaciones o modificaciones futuras de los ya existentes. Todos



ellos están totalmente condicionados por las limitaciones geométricas del concurso y por la estrategia escogida.

Además de todos estos factores, hay que saber que es muy importante valorar la influencia de los elementos añadidos tales como los motores motrices, baterías, sensores y condiciones ambientales, ya que, un error en la elección o situación de los mismos, pueden desestabilizar el sistema y el funcionamiento del microrobot. De esta forma, es de vital importancia la elección de los materiales que conformarán el armazón así como de la situación del resto de elementos.

En capítulos sucesivos se hará un estudio más detallado para poder entender la influencia de todas las especificaciones nombradas en el prototipo final.



4. DISEÑO MECÁNICO

4.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se realizará un análisis detallado de los elementos que han influido en el desarrollo mecánico del robot. Así, los contenidos en las que se dividirá esta sección serán las siguientes:

- ***Estructura***

Se ha dividido en dos partes. Por un lado, se analizará el diseño y construcción de la base, sus dimensiones, su forma final y el material seleccionado para ella. Por otro lado estudiaremos las características de la carcasa exterior de la misma forma que la base. En ambos casos el objetivo ha sido obtener una buena funcionalidad, para facilitar el acceso a las partes más interiores.

- ***Sistema de recogida***

En este apartado se estudiarán los diferentes sistemas de recogida del robot. Se realizará un amplio estudio sobre las partes que lo integran, la forma y el material seleccionado, las dimensiones, la función que desempeñan, su modo de accionamiento y puesta en marcha y la secuencia de movimiento de cada uno de ellos.

- ***Sistema locomotor***

En esta sección se analizarán los diferentes elementos que permiten el movimiento del robot así como la distribución de pesos del mismo, condición fundamental para la estrategia elegida y para que el funcionamiento, y más concretamente, el movimiento, sea limpio y fluido y siga la trayectoria previamente establecido por el equipo.

Para poder observar y conocer lo que será el prototipo final se ha decidido utilizar un programa de diseño asistido por ordenador (CAD), del cual haremos una breve descripción a continuación para conocer sus funciones y herramientas básicas.

4.2 SOLID EDGE V.19

Solid Edge es un programa de diseño asistido por computador (*Computer Aided Design*) que apareció en el mercado en 1995 bajo la firma de *Intergraph* y que se comercializa desde 1998 por *Unigraphics*. Su empleo permite modelar diversos elementos mecánicos tales como chapas de cierto espesor, piezas solidas, uniones soldadas o conjunto de las mismas. Además se trata de una herramienta muy práctica, ya que partiendo de un modelo ya creado nos otorga la posibilidad de obtener planos en 2D, ensamblar piezas para formar conjuntos e incluso darles movimiento. [21]

4.2.1 ENTORNOS DE TRABAJO

La creación de piezas, planos, conjuntos, etc. se lleva a cabo desde entornos diferentes accediendo desde la ventana de bienvenida del programa, y registrados con distintas extensiones respectivamente. Así los entornos que se han utilizado para modelar las piezas del robot son:

➤ **Entorno pieza**

Permite modelar piezas tridimensionales mediante operaciones mecánicas típicas de los procesos de fabricación, tales como protrusiones, vaciados, redondeos... El proceso de creación parte de un bloque de material al que se le aplican las operaciones pertinentes hasta llegar a la forma final de la pieza. Los archivos generados bajo este entorno tiene extensión **.par*. [21]

➤ **Entorno conjunto**

Permite ensamblar las diferentes piezas creadas en el entorno pieza aplicando relaciones entre ellas. Algunas de estas operaciones pueden ser alinear ejes planos o caras (*p.e. un tornillo que debe encajar con una tuerca*); coincidir puntos, líneas o caras (*p.e. dos caras que deben ir paralelas y coincidir en sus bordes*)... La extensión para este tipo de archivos es **.asm*. [21]

➤ **Entorno plano**

Con esta opción permite obtener planos bidimensionales de piezas, de forma semejante a otro tipo de programas que se encuentran en el mercado destinados a este fin. La diferencia radica en que debido a la estrecha relación entre los entornos, podemos transferir de forma sencilla una pieza o un conjunto previamente creado, y automáticamente obtendremos el plano, con las medidas correctas y en la perspectiva que elijamos. Estos archivos se guardan con extensión *.dht. [21]

4.2.2 ENTORNO GRÁFICO

Dependiendo del entorno donde nos encontremos la ventana principal puede sufrir variaciones. La apariencia principal se asemeja a la que observamos en la figura 50. Esta se corresponde con el entorno de piezas, el más utilizado. Como ejemplo mostraremos las operaciones realizadas para modelar el “motor”.

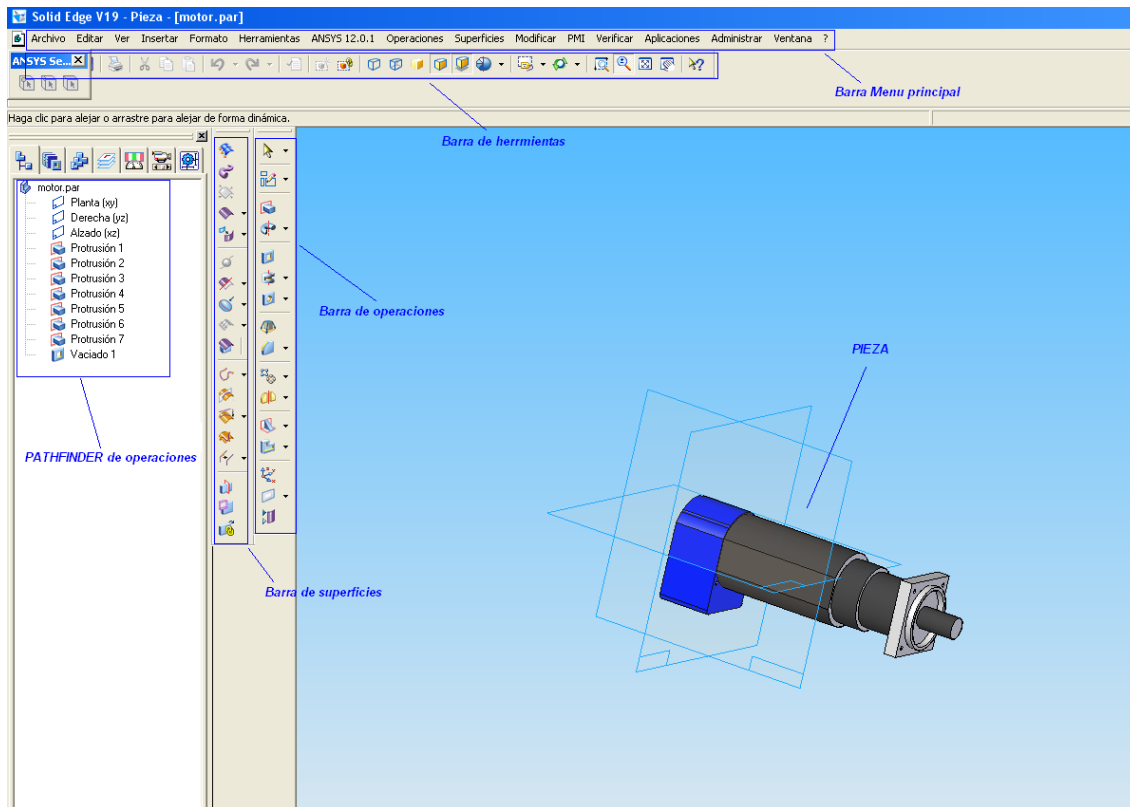


Figura 50. Interfaz entorno de trabajo de SOLID EDGE

Como se aprecia en la parte izquierda del área de trabajo se dispone en el *Pathfinder* el histórico de operaciones seguidas. Se trata de la serie de operaciones que hemos realizado a nuestra pieza, ordenadas de forma cronológica. En el ejemplo de trata de uno de los motores que van unidos a las ruedas para transmitir el movimiento a las ruedas. Con ello podemos modificar cualquier operación posteriormente ya sea por error o por simples cambios en la forma final de la pieza. [21]

A la derecha del *Pathfinder*, disponemos de las barras de superficies y la de operaciones. La primera permite separar, modificar o desplazar superficies a partir de caras de piezas previamente creadas. En la segunda, podemos realizar protrusiones, vaciados... utilizando los planos x, y, z del entorno. [21]

En la parte superior disponemos de la barra de herramientas, que permite visualizar las piezas de forma diferente, ya sea cambiando la perspectiva o el plano de origen (vista de alzado, planta, perfil...), o cambiando las características propias de la pieza (la transparencia de éstas, ver pieza sólida, ver pieza con bordes o sin bordes,

ver pieza solo con bordes...). Además contamos con la barra de menú principal, común a muchos programas de Windows. [21]

Como peculiaridad, mostraremos una figura del *entorno conjunto*, ya que este tiene una diferencia respecto al entorno gráfico anterior. En este caso el *Pathfinder* muestra las piezas que se han insertado. La suma de todas ellas y las interrelaciones por las que se guían forman el conjunto final. Como ejemplo podemos ver en la figura siguiente uno de los conjuntos modelados, concretamente el del “motor - rueda” y las piezas necesarias para su unión.

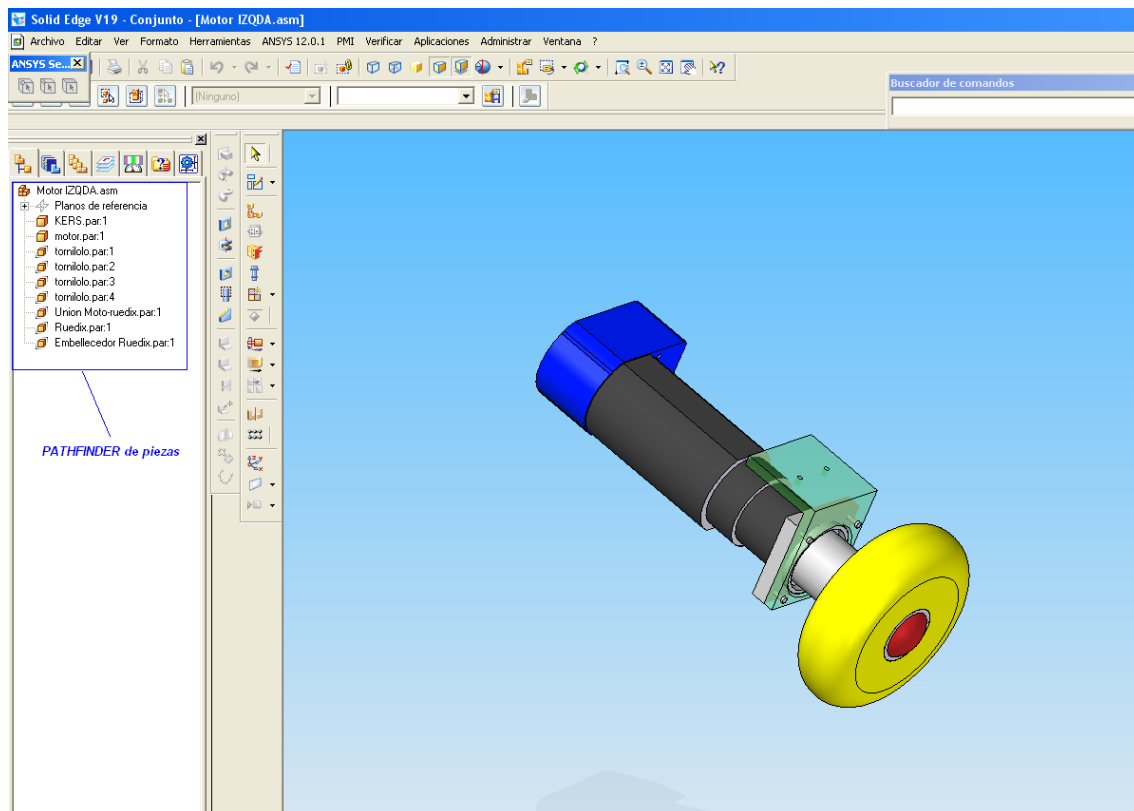


Figura 51. Interfaz entorno de conjunto de SOLID EDGE



5. ESTRUCTURA

Es fundamental un diseño correcto de la estructura del microrobot para el buen funcionamiento del mismo, así como la elección de los materiales con los que se va a construir cada pieza, pues no todos los elementos requieren las mismas características de resistencia, tenacidad o dureza, ni tienen las mismas funcionalidades.

Como se ha indicado anteriormente, se hizo una división en dos partes en la estructura (base y carcasa), en función de los requerimientos y funcionalidad de cada una de ellas.

5.1 DISEÑO DE LA BASE

La base es uno de los principales elementos a nivel estructural del robot. Toma un papel fundamental ya que depende en gran medida de la estrategia y de la trayectoria que tendrá que seguir el robot.

Tiene como objetivo dar soporte a todos los elementos instalados, tanto la carcasa como los elementos interiores tales como las placas electrónicas, los motores, los sistemas de recogida, etc. Por tanto deberá cumplir las exigencias de resistencia y absorber los esfuerzos a los que se verá sometida por el peso de los diferentes sistemas y elementos introducidos, así como disponer de la ligereza suficiente para facilitar los movimientos del robot.

5.1.1 MATERIAL

En la industria, para cualquier elemento estructural es fundamental conocer las propiedades mecánicas que presentan los materiales que van a componer el útil final. Las propiedades mecánicas, o mejor dicho, las propiedades de resistencia mecánica son en realidad propiedades físicas en sentido estricto, pero con frecuencia se tratan de forma separada, debido a su gran importancia práctica. En la mayoría de los casos las propiedades mecánicas sirven como base para dictaminar sobre un material metálico, con vistas a un fin de aplicación concreto. Por supuesto, a menudo, se tienen en cuenta otro tipo de características para emitir un juicio, como la conductividad eléctrica o la resistencia a la corrosión. Sin embargo es muy raro que se presente un caso en el que no jueguen algún papel las propiedades mecánicas.

Tras analizar el conjunto de materiales que disponíamos para su utilización, se optó por utilizar flejes rectangulares de aleación de aluminio extruido de 3 mm de espesor para su construcción.

El aluminio es uno de los metales más ligeros. Este hecho lo demuestra el valor de su peso específico ($2,7 \text{ gr/cm}^3$) en comparación con el resto de metales. Normalmente en la industria no se utiliza el Aluminio puro, si no que se alea con otros metales que le otorgan mejoras en sus características mecánicas. En general, la resistencia aumenta con el aumento en elementos de aleación. Estos elementos pueden ser hierro (Fe), Magnesio (Mg), silicio (Si), cobre (Cu), etc., existiendo multitud de combinaciones posibles. Esta cualidad es determinante para su empleo como material estructural y de recubrimiento. Este hecho se contrasta en la siguiente tabla, en la que se expone una comparativa de los valores de resistencia a tracción obtenidos en un “ensayo de tracción”, uno de los ensayos más importantes a los que se someten los materiales metálicos para conocer sus propiedades: [6]

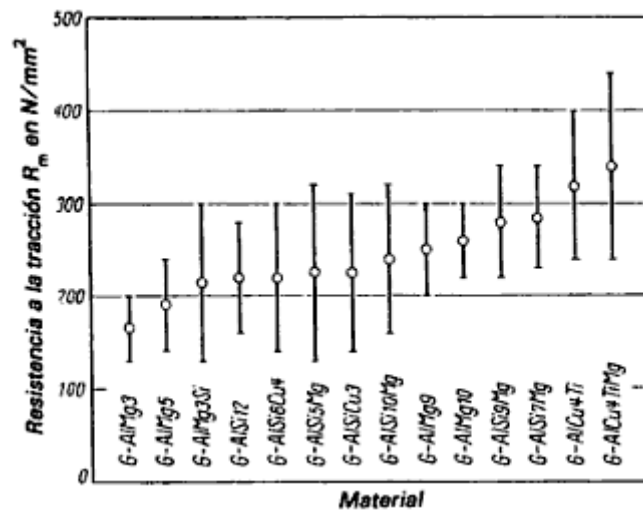


Figura 52. Comparativa valores de resistencia en metales

Existen diferentes tratamientos, casi todos ellos relacionados con la temperatura del material que se quiere trabajar. Para formar estas aleaciones, normalmente se realiza por deformación en frío seguidas de otro tipo de procesos térmicos como el recocido o temple. Cuanto más tiempo esté expuesto el material a estos procesos, mayor será la reestructuración de sus estructuras cristalinas y mejores propiedades mecánicas presentará el material.

En la siguiente tabla se exponen algunos de estos metales puros y las características mecánicas que presentan, así como algunas de las aleaciones formadas como producto de la unión química de este tipo de elementos: [6]

	Densidad [kg/dm ³]	Conductividad [S*m/mm ²]	Resistencia (IACS) [%]	Fuerza máxima [N/mm ²]	Coeficiente de resistencia térmica [1E-6/K]
Cobre					
Cu	8.9	58.5	100	220-270	3900-4000
Aluminio					
Todos	2.7	36	62	120-140	3900-4100
Aluminio con capa de Cobre					
CCA10%	3.3	37.7	65	130-180	3900-4100
CCA15%	3.6	39.2	68	170-230	3900-4100
HTCCA	3.6	35	60	230-280	3600-3900
Alambre de alta tensión mecánica					
HTW	8.9	54	93	350-400	3200-3600
XHTW	8.9	51	88	380-450	3100-3500
Aleaciones Cobre Níquel					
CuNi1	8.9	40	69	220-350	2900-3100
CuNi2	8.9	20	34	290-370	1000-1600
CuNi6	8.9	10	17	310-380	500-900
CuNi10	8.9	6.7	11	320-380	350-400
CuNi23Mn	8.9	3.3	6	500-550	150-200
CuNi44	8.9	2	3	420-480	-80 - 40
Bronce					
CuZn10	8.7	25.3	44	340-390	1300-1500
CuZn20	8.5	18.8	32	390-450	1300-1500
CuZn30	8.4	16	27	440-540	1300-1500
CuZn37	8.3	15	26	430-480	1300-1500
Plata					
AgCu1	10.5	57.5	99	220-320	3800-4000
Ag99.99	10.5	62.5	108	170-220	3800-4000
Oro					
Au	19.3	45.5	78	120-220	1400
Aleaciones Cobre Estaño					
CuSn6	8.8	7.5	13	470-530	550-750
Aleaciones de Aluminio Magnesio					
AlMg5	2.7	17	29	200-300	3700-3900
Alambres con Chapa					

Ms/Ag	8.5	16	27	440-540	1400-1600
Cu/Ag	8.9	58.5	100	220-270	3800-4200
Cu/Ni	8.9	55	94	250-300	3800-4200
Acero inoxidable					
304	7.9	1.36	2	850-970	
316	7.9	1.36	2	740-840	

Tabla 8. Valores de las características mecánicas de los metales.

Como podemos observar en la tabla, el peso específico del aluminio puro es el valor más bajo. Este hecho ha sido determinante en su elección, traducido en una mayor ligereza de la base, permitiendo al robot mayor maniobrabilidad y mayor facilidad en su movimiento. Además, al ser la base un elemento soporte no requerirá grandes valores de resistencia, ya que no estará sometida a impactos que puedan producir deformaciones importantes en el material. Por ello el bajo coste y los valores de resistencia, $120\text{-}140\text{ N/mm}^2$ como observamos en la tabla, dotan al aluminio de características perfectamente adaptadas a las necesidades de esta parte de la estructura.

5.1.2. Definición del contorneado exterior y construcción

Para su diseño, la primera condición que debe cumplir es adaptarse a la normativa del concurso. La limitación en el perímetro es la norma más influyente en este sentido. Teniendo en cuenta la vista desde la “planta” del robot (representación gráfica bidimensional sobre un plano horizontal visto desde arriba), la base representará la parte más exterior. Por tanto, la longitud formada por las medidas de todos sus lados no podrá ser superior 120cms . [5]

De acuerdo a la estrategia elegida, el robot deberá pasar entre los postes del campo. Debido a la alternancia entre fijos y no fijos en función del partido, *Fluzo* deberá pasar limpiamente entre ellos sin colisionar, independientemente de cuál sea su estado. Cualquier contacto podría suponer un cambio en la trayectoria y este error influiría negativamente en el siguiente movimiento, y así sucesivamente. Por tanto, lo primero que hicimos fue cerciorarnos de cuáles eran las dimensiones entre postes, y las medidas concretas disponibles para el paso del robot. En la siguiente figura se exponen las dimensiones del campo, entre mazorca, y mazorca y entre pared y mazorca. Los puntos negros más marcados serían las mazorcas mientras que los tomates están representados por los puntos menos fuertes:

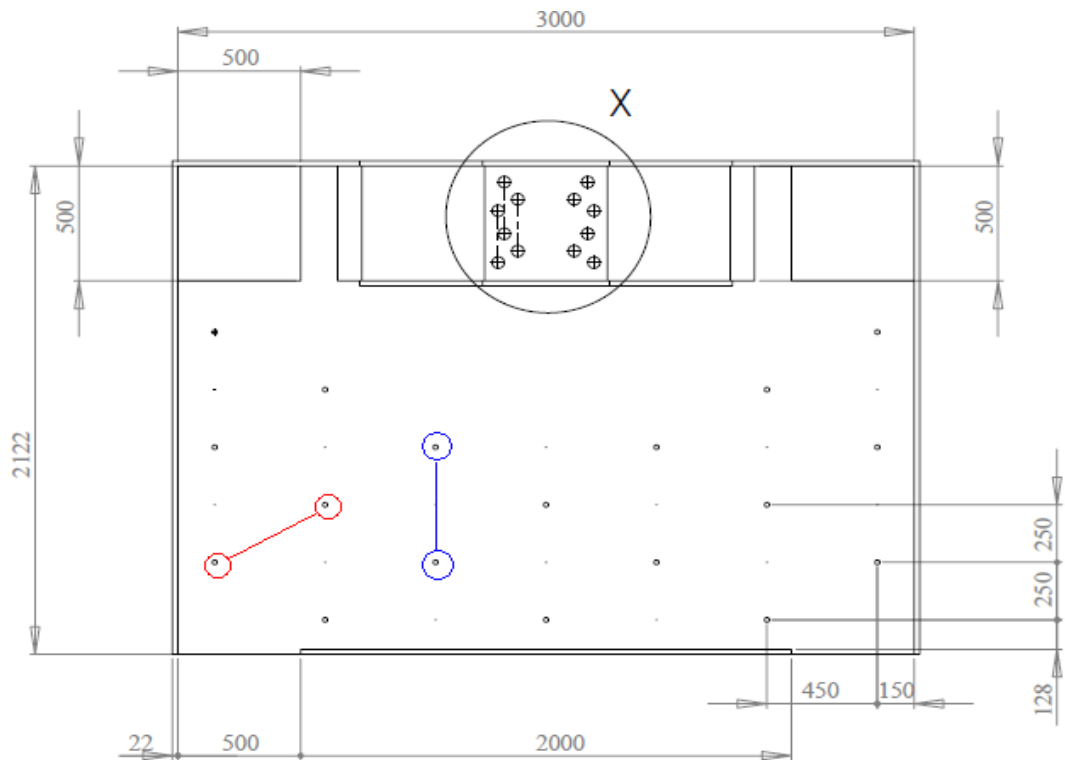
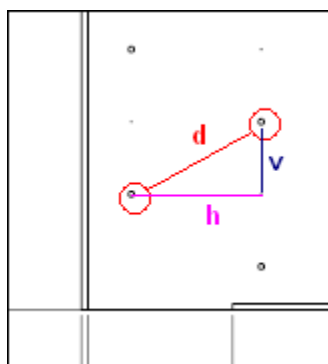


Figura 53. Distancias entre mazorcas

De acuerdo a la trayectoria, el robot deberá cruzar entre 2 postes verticales consecutivos (marcados con el color azul en el plano), y dos consecutivos si trazamos una recta diagonal de uno a otro (marcados con el color rojo en el plano). Esta medida (línea roja imaginaria del plano) se puede obtener de forma directa aplicando el teorema de Pitágoras. Para ello, se expone el detalle de una parte del plano donde se incluyen dos postes consecutivos diagonalmente:



d: distancia diagonal entre postes

v: distancia vertical entre postes

h: distancia horizontal entre postes

Figura 54. Detalle distancia entre mazorcas

$$h^2 + v^2 = d^2$$

$$d = \sqrt{h^2 + v^2}$$

$$d = \sqrt{450^2 + 250^2}$$

$$d = 514,78\text{mm}$$

Por tanto, vamos a resumir las distancias que nos interesan:

Distancia	mm
Entre postes verticales	500
Entre postes consecutivos en diagonal	514,78

Tabla 9. Valores de distancias entre mazorcas

Conociendo estas dimensiones, decidimos crear una base rectangular de lados 350x240mm, respetando siempre el perímetro impuesto por la organización (1200mm), incluso dejando 1 mm de seguridad a cada lado.

A partir de este momento, era necesario dar forma a la base para distribuir de manera correcta los elementos que iban a ir enganchados directamente sobre ella:

➤ **Almacén de tomates**

En primer lugar, se realizó el estudio sobre las medidas del cajón a modo de “almacén” destinado a los tomates. Como se ha comentado con anterioridad, *Fluzo* tendrá la capacidad de recoger dos tomates en cada trayecto. Teniendo en cuenta que el diámetro de cada uno de ellos es de 100mm, sería aconsejable que el rectángulo que formaría la silueta de dicho cajón tuviera unas medidas de 250 mm x 100 mm. Por estar siempre del lado de la seguridad, está preestablecido dejar siempre ciertas tolerancias, 2mm a cada lado como mínimo.

➤ **Ruedas laterales**

En segundo lugar, se realizó el diseño de los espacios donde se insertarían las ruedas laterales. La colocación de estas es sumamente importante porque, además de dirigir el robot con su movimiento, actúan como apoyos donde se sostiene todo el peso. Como la mayor parte del peso se concentra en la parte trasera (la batería tiene una masa del orden de 100 mayor que cada una de las placas electrónicas), la capacidad de carga de las ruedas traseras es mayor en comparación con las delanteras.

Aprovechando la experiencia de años anteriores y el buen resultado obtenido, se decidió utilizar ruedas del modelo HYPER HOCKEY PRO 250, propias de patines en línea, para las que se diseñaron unos casquillos de aluminio como nexo de unión entre las ruedas y los motores de las mismas. El material plástico de contacto entre la rueda

y el tablero permite que exista un valor elevado de rozamiento permitiendo una excelente adherencia. Además su adaptación y ajuste a los motores seleccionados es bastante sencilla.



Figura 55. Rueda Hyper Hockey Pro 250

Sin la posibilidad de que las ruedas quedarán por el exterior de la base debido a las limitaciones por el perímetro, la mejor colocación es que fueran insertadas en la base.

➤ ***Rueda “loca” central***

El movimiento se realiza únicamente a través de un eje motriz unido a las ruedas anteriores. Con el fin de mantener el equilibrio y minimizar la fricción del microrobot con la superficie, se ha utilizado una bola loca situada en el centro de la base del tipo “platillo”, fijada a través de una pequeña pieza de acero que permite tanto una sujeción segura de las ruedas a la base, así como el refuerzo de esta última, pues al ser de aluminio y soportar un peso considerable la base sufre un ligero pandeo que se solventa con estas piezas.



Figura 56. Rueda loca central

Además de esta, se han colocado otras 2 ruedas locas laterales situadas en la parte delantera, una a cada lado respectivamente. Estas últimas servirán para ganar estabilidad en caso de una frenada brusca o de un movimiento en falso, evitando el que la base se ponga en contacto con el tablero en ningún momento. En capítulos sucesivos se desarrollará el sistema locomotor con mayor profundidad.

5.1.3. Dimensiones geométricas

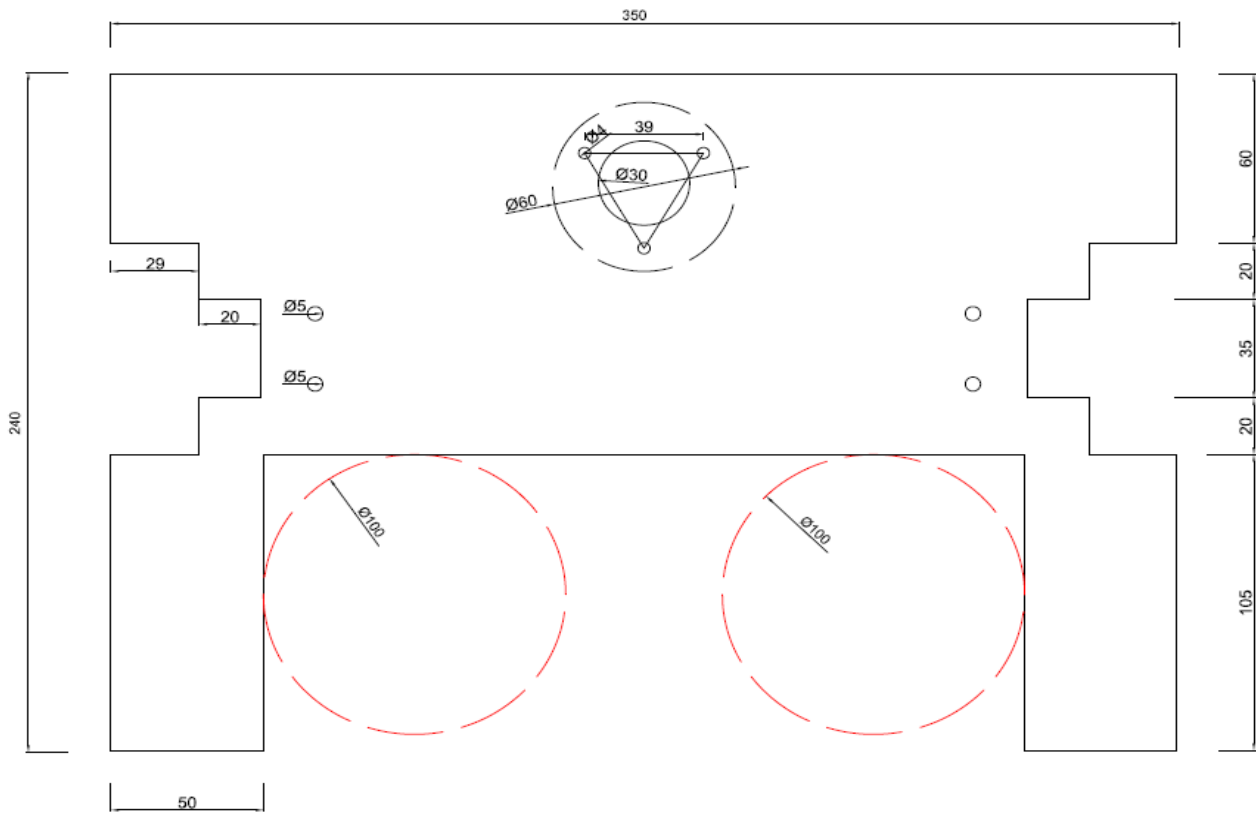
La última operación consiste en definir de manera exacta las dimensiones de los vaciados que se van a mecanizar en la base. La siguiente tabla presenta las medidas de los elementos que se van a insertar para conocer el espacio que requerimos y poder realizar los mecanizados:

Ruedas	
Diámetro	72 mm
Ancho	25 mm
Bola loca	
Diámetro	30 mm
Tomates	
Diámetro	100 mm

Tabla 10. Dimensiones geométricas de los vaciados en la base

También se han tenido en cuenta los taladrados necesarios para las uniones, como se observa en el plano de la figura posterior.

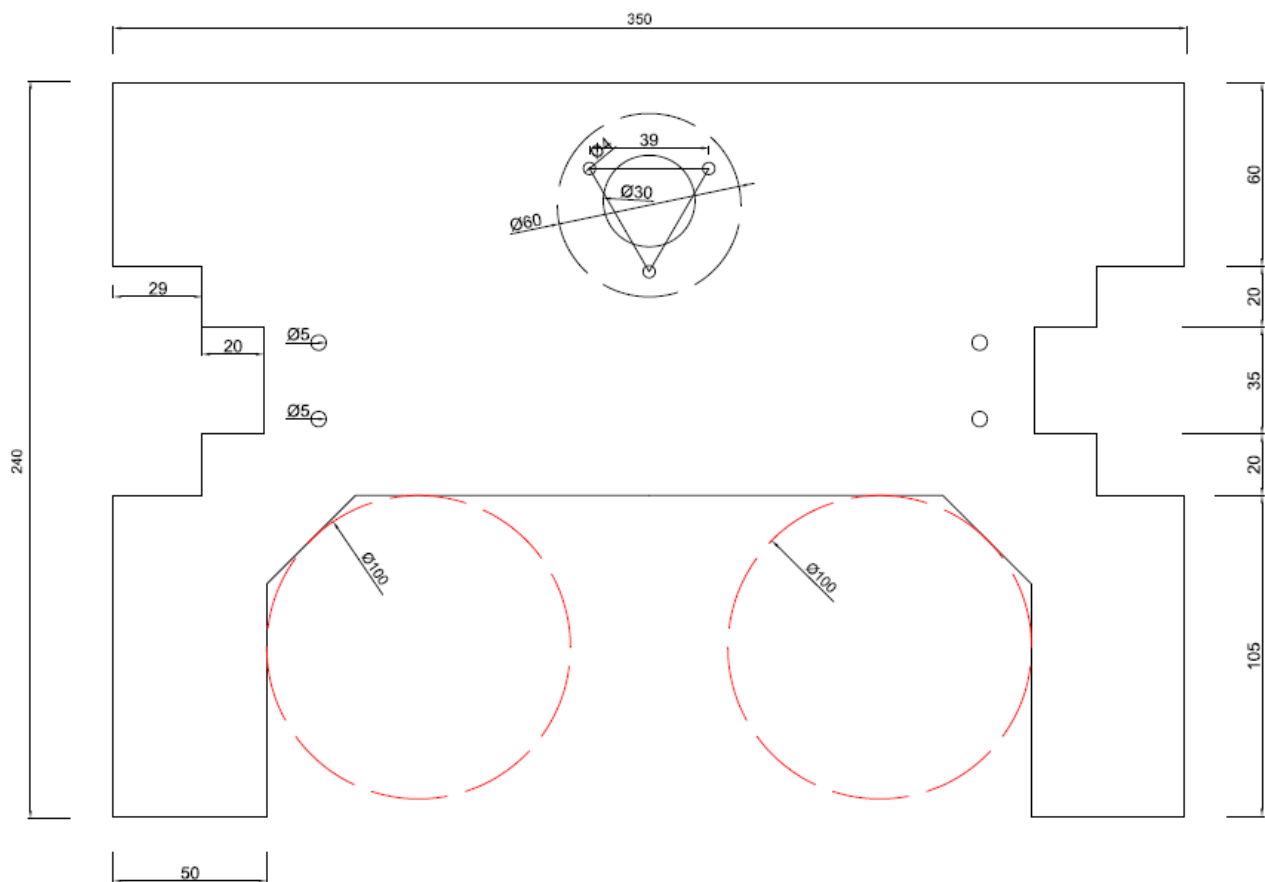
Definidas la forma y las dimensiones la base finalmente quedó:



BASE DEL ROBOT
cotas en mm.

Figura 57. Plano base del robot

Se realizó una modificación en la forma final como se aprecia en las esquinas de este espacio, ya que era probable que los esfuerzos verticales y de flexión pudieran ocasionar pliegues o incluso roturas en la chapa. Con esta modificación ganamos en superficie, y consecuentemente en resistencia a estos esfuerzos locales.



BASE DEL ROBOT
cotas en mm.

Figura 58. Plano base del robot con chaflán

Las operaciones de mecanizado de la base requieren unas tolerancias extremadamente estrechas, por que se recurrió a un servicio de oficina técnica quedando de la siguiente manera:

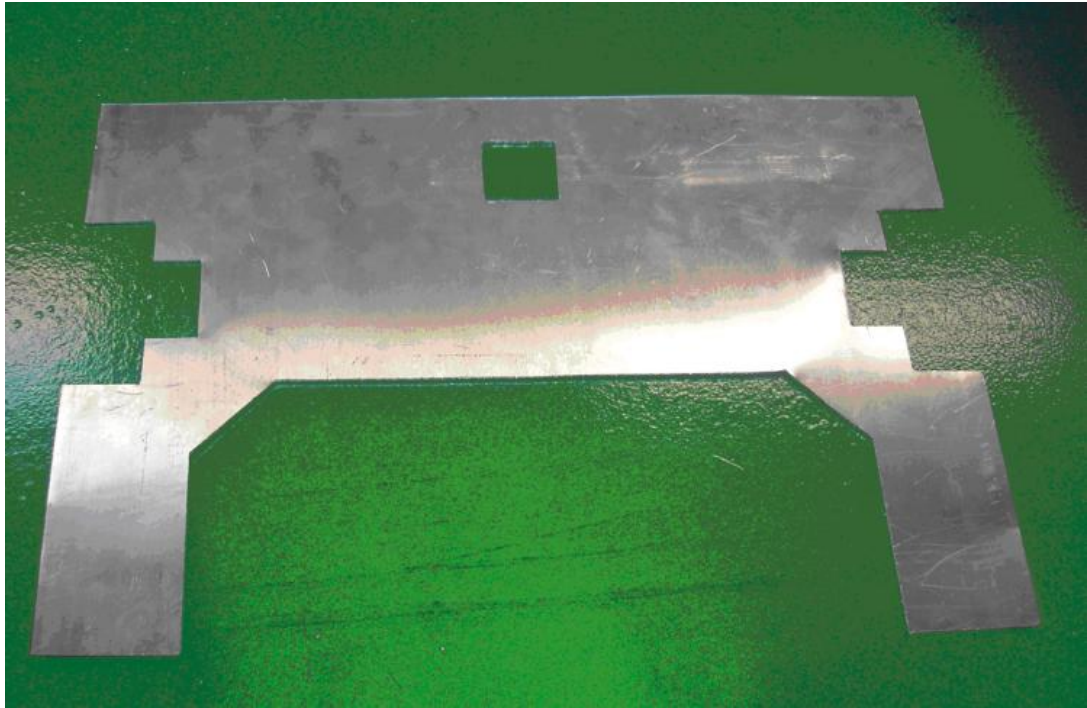


Figura 59. Base de aluminio del robot

5.2 DISEÑO CARCASA EXTERIOR

La carcasa forma el cuerpo exterior del robot, que le da forma y lo define. Del mismo modo que la base, está condicionada en gran parte por el modo de actuar en los partidos. Su diseño dependerá de donde y como irán colocados todos los elementos que alberga el robot, tanto en la parte interior como exterior.

5.2.1 *Material*

Para esta parte de la estructura, el material va a tomar una mayor importancia. Al ser la parte exterior y visible del robot, es susceptible de chocar o recibir golpes por accidente con otros microrobots o con los propios elementos del campo. Por ello en el espectro de variables de propiedades mecánicas de los materiales disponibles para su fabricación es necesario definir cuál o cuáles satisfacen en mayor medida nuestras necesidades. Los requerimientos mecánicos que debemos cumplir son:

➤ **Resistencia**

La resistencia de un material generalmente se relaciona con su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo. El parámetro que ofrece resultados cuantitativos, permitiendo obtener comparaciones entre diferentes materiales se define como tensión. Estos valores normalmente se obtienen por diferentes ensayos según la expresión, donde F es la fuerza que se aplica y A el área del material sometido a esa fuerza. [17]

$$\text{Tensión } (\tau) = \frac{F}{A}$$

Se mide en Pascales (N/m^2), pero generalmente este valor se suele dar en unidades del orden de $10e^6$ de Pascales (Mpa) o de $10e^9$ (Gpa).

En nuestro caso nos interesa la resistencia disponible para paliar las tensiones producidas por las uniones entre las distintas caras, tanto a compresión como a flexión. [17]

➤ **Elasticidad**

Pero las propiedades mecánicas no se remiten exclusivamente a conocer cuál es la resistencia de un material. Ésta nos indica cuánta tensión se necesita para romper algo, pero no nos dice nada de lo que ocurre con la muestra mientras estamos tratando de romperla. Ahí es donde corresponde estudiar el comportamiento de elongación de la muestra. La elongación es un tipo de deformación. La deformación es simplemente el cambio en la forma que experimenta cualquier objeto bajo tensión. Cuando hablamos de tensión, la muestra se deforma por estiramiento, volviéndose más larga. Obviamente llamamos a esto elongación. [17]

Por lo general, hablamos de porcentaje de elongación, que es el largo de la muestra después del estiramiento (L), dividido por el largo original (L_0), y multiplicado por 100.

$$\frac{L}{L_0} \times 100 = \% \text{ elongación}$$

Existen muchas cosas relacionadas con la elongación, que dependen del tipo de material que se está estudiando. Dos mediciones importantes son la elongación final y la elongación elástica.

La elongación final es crucial para todo tipo de material. Representa cuánto puede ser estirada una muestra antes de que se rompa. La elongación elástica es el

porcentaje de elongación al que se puede llegar, sin una deformación permanente de la muestra y sin que deforme plásticamente, recuperando su forma y longitud inicial.

Si queremos conocer cuánto un material resiste la deformación, medimos lo que denominamos *módulo*. El módulo de Young o módulo elástico longitudinal (E) es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Para medir el módulo, hacemos lo mismo que para medir la resistencia y la elongación final. Esta vez se mide la resistencia que estamos ejerciendo sobre el material, tal y como procedimos con la resistencia tensil. Incrementamos lentamente la tensión y medimos la elongación que experimenta la muestra en cada nivel de tensión, hasta que finalmente se rompe. La tensión y la elongación se relacionan de una manera directa mediante las curvas *tensión-deformación*: [16]

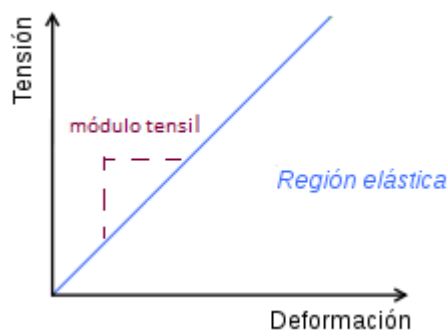


Figura 60. Diagrama tensión-deformación tramo elástico

La altura de la curva cuando la muestra se rompe, representa la resistencia, y la pendiente representa el módulo. Si la pendiente es pronunciada, la muestra tiene un alto módulo tensil, lo cual significa que es resistente a la deformación. Si es suave, la muestra posee bajo módulo tensil y por lo tanto puede ser deformada con facilidad.

El módulo se mide calculando la tensión y dividiéndola por la elongación. Pero dado que la elongación es adimensional, no tiene unidades por cual dividirlos. Por lo tanto el módulo es expresado en las mismas unidades que la resistencia, es decir, en MPa (N/cm^2). [16]

Hay ocasiones en que la curva tensión-estiramiento no es una recta. Para algunos polímeros, especialmente plásticos flexibles, obtenemos curvas extrañas, parecidas a esta:

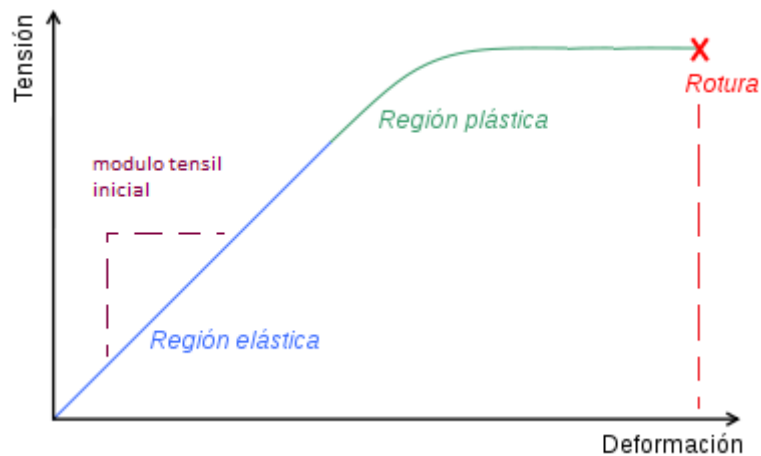


Figura 61 .Diagrama tensión- deformación

A medida que la tensión se incrementa, la pendiente, es decir el módulo, no es constante, sino que va experimentando cambios con la tensión. En casos como éste, generalmente tomamos como módulo la pendiente inicial, como puede verse en la curva de arriba. [16]

En general, las fibras poseen los módulos tensiles más altos, y los elastómeros los más bajos, mientras que los plásticos exhiben módulos tensiles intermedios.

➤ Dureza

El gráfico de tensión vs. alargamiento puede darnos otra valiosa información. Si se mide el área bajo la curva tensión-estiramiento, coloreada de rojo en la figura de abajo, obtenemos un valor al que denominamos *dureza*. [16]

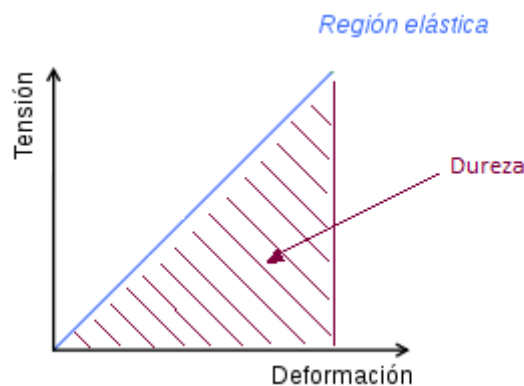


Figura 62 .Representación de la dureza esquema tensión- deformación

La dureza es en realidad, una medida de la energía que una muestra puede absorber antes de que se rompa, es decir, la reacción elástica del material cuando se deja caer sobre él un cuerpo más duro. La altura del triángulo del gráfico es la resistencia y la base de ese triángulo es el estiramiento. El área es proporcional a resistencia por estiramiento. Dado que la resistencia es proporcional a la fuerza necesaria para romper la muestra y el estiramiento es medido en unidades de distancia (la distancia que la muestra es estirada), entonces resistencia por estiramiento es proporcional a fuerza por distancia, y por física, fuerza por distancia es energía. [17]

$$\text{Resistencia} \times \text{Alargamiento} \sim \text{Fuerza} \times \text{distancia} = \text{Energía}$$

Desde el punto de vista físico, la respuesta es que la resistencia nos dice cuánta fuerza es necesaria para romper una muestra, y la dureza nos dice cuánta energía hace falta para romper una muestra. Pero en realidad no nos dice cuáles son las diferencias desde el punto de vista práctico.

Lo importante es saber que justamente, dado que un material es resistente, no necesariamente debe ser duro. Veamos algunos otros gráficos para comprender mejor esto.



Figura 63. Comparativa dureza vs. resistencia

La curva en azul representa la relación tensión-estiramiento de una muestra que es resistente, pero no dura. Como puede verse, debe emplearse mucha fuerza para romperla, pero no mucha energía, debido a que el área bajo la curva es pequeña. Asimismo, esta muestra no se estirará demasiado antes de romperse. Los materiales de este tipo, que son resistentes, pero no se deforman demasiado antes de la ruptura, se denominan quebradizos.

Por otra parte, la curva en rojo representa la relación tensión-estiramiento para una muestra que es dura y resistente. Este material no es tan resistente como el de la

curva en azul, pero su área bajo la curva es mucho mayor. Por lo tanto puede absorber mucha más energía que el de la curva en azul.

En definitiva, la muestra roja es capaz de elongarse mucho antes de que se rompa la muestra azul. La deformación permite que la muestra pueda disipar energía. Si una muestra no puede deformarse, la energía no será disipada y por lo tanto se romperá.

Centrándonos en el caso que nos ocupa, debemos tener presente que estamos seleccionando un material para un microrobot, por lo que el material en ningún caso va a ser sometido a sus niveles críticos.

Aún así, la resistencia será la propiedad con más peso en orden de importancia. El movimiento del robot debe seguir una línea regular, sin que se produzcan variaciones de la trayectoria entre un ensayo y el siguiente, o minimizándolas lo máximo posible. Cualquier accidente por colisión podría ocasionar desperfectos influyendo de forma negativa en la trayectoria. [17]

Por tanto, requeriremos de un material con un alto grado de resistencia, tanto a impacto como a rotura, para paliar los efectos de posibles choques sufridos durante el partido. La dureza toma un papel secundario, ya que los elementos fijos del tablero están fabricados con polipropileno, con valores de dureza menores al seleccionado para la estructura. En caso de choque, los impactos serán bien absorbidos por la carcasa sin producir desperfectos importantes. Además, una colisión con el robot contrario son estrictamente penados por los árbitros del partido por lo que la posibilidad de que ocurran es mínima, prácticamente nula.

La elongación tampoco será un aspecto crítico ya que nuestras caras no necesitan alargarse. No estarán sometidas a esfuerzos ni a incrementos de temperatura que produzcan este efecto sobre ellas.

Como conclusión, el material más apropiado será un plástico rígido, cuya curvas tensión deformación se aprecia en la figura siguiente.

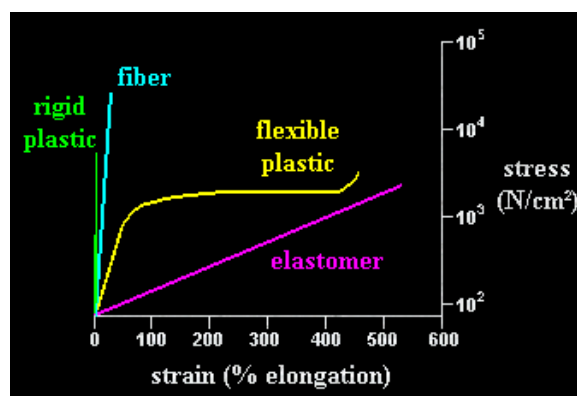


Figura 64. Tipo de materiales en función de dureza vs. resistencia

Más concretamente el material seleccionado para la carcasa exterior ha sido *Polimetilmetacrilato (PPMA)*, conocido comúnmente como *metacrilato*, de 5mm de espesor. Entre sus propiedades podemos destacar:

- Transparencia de alrededor del 93%. El más transparente de los plásticos. [16]
- Alta resistencia al impacto, de unas diez a veinte veces la del vidrio. [16]
- Resistente a la intemperie y a los rayos ultravioleta. No hay un envejecimiento apreciable en diez años de exposición exterior. [16]
- Excelente aislante térmico y acústico. [16]
- Ligero en comparación con el vidrio (aproximadamente la mitad), con una densidad de unos 1190 kg/m^3 es sólo un poco más pesado que el agua. [16]
- De dureza similar a la del aluminio: se raya fácilmente con cualquier objeto metálico. [16]
- De fácil combustión, no se apaga al ser retirado del fuego. Sus gases tienen olor afrutado y crepita al arder. No produce ningún gas tóxico al arder por lo que lo podemos considerar un producto muy seguro para elementos próximos a las personas al igual que la madera. [16]
- Gran facilidad de mecanización y moldeo. [16]
- Se comercializa en planchas rectangulares de entre 2 y 120 mm de espesor. Existe con varios grados de resistencia (en unas doce calidades diferentes). [16]
- Se puede mecanizar en frío pero no doblar (serrado, esmerilado, acuchillado, pulido, etc.). Aplicaremos calor local (para doblarlo) o calentando toda la pieza. Esto último es un proceso industrial complejo que requiere moldes y maquinaria especializada. [16]

Los valores estandarizados de las propiedades mecánicas del metacrilato se detallan en la siguiente tabla:

Propiedades Mecánicas			
	Valor	Unidades	Norma
Resistencia a la tracción	72	Mpa	ISO 527
Modulo de elasticidad en tracción	3000	Mpa	ISO 527
Alargamiento en la ruptura	4	%	ISO 527
Resistencia al choque (método Charpy)	14	KJ/m ²	ISO 179/2D
Dureza Rockwell	100	(escala M)	ISO 2039/2
Resistencia a la flexión	116	Mpa	ISO 178

Tabla 11. Propiedades mecánicas Metacrilato

Para entender mejor el por qué de la elección este material en lugar de otros polímeros de características semejantes, a continuación exponemos una tabla en la que se observan las ventajas y desventajas de este material con respecto al vidrio en función de las necesidades del robot:

COMPARATIVA DE PROPIEDADES

	VIDRIO	METACRILATO
1 Transparencia (Transmisión de luz)	89%	92%
2 Transmisión térmica (Conductividad)	5,7 W/m ²⁰ K	5,6 W/m ²⁰ K
3 Densidad (peso)	2.500Kg/m ³	1.190Kg/m ³
4 Resistencia al impacto	Muy baja	Alta
5 Dureza	6,5 (Alta)	Baja
6 Coef. Dilatación lineal	9x10-6 mm/m°C	7x10-5 mm/m°C
7 Coste (para e=6mm)	40€/m ²	40€/m ²
8 Fragilidad	Muy alta	Muy baja
9 Durabilidad	Alta	Baja
10 Permeabilidad al agua.	Despreciable	Despreciable
11 Resistencia a tracción	300/700Kg/cm ²	72.000Kg/cm ²

Valor poco adecuado Valor mas favorable

Tabla 12. Comparativa propiedades mecánicas vidrio vs. metacrilato

Como hemos citado anteriormente, para su elección ha sido fundamental su valor de resistencia a la rotura, su ligereza y su facilidad para ser manipulado mecánicamente. Como observamos en la tabla el coste por m² de material es similar.

Otro aspecto a tener en cuenta es la densidad. Al tener un peso menor, la estructura del robot es más ligera y permite realizar los movimientos más complicados (giros, subida a la rampa...) sin demasiado esfuerzo y en una única maniobra.

Además la transparencia (92%) es un aspecto a favor, ya que al ser un concurso de electrónica, se agradece observar cómo está fabricado desde dentro.

5.2.2 Definición del contorneado exterior y construcción

La distribución de los sistemas del robot se diseñó pensando en optimizar el espacio lo máximo posible. Para definir la forma exterior habría que identificar con anterioridad los elementos tanto interiores como exteriores que *Fluzo* albergaría. De esta manera podríamos aprovechar el espacio de la mejor forma posible.

- ESTRUCTURA INTERIOR (PORTAPLACAS)

En la parte interior, se colocaron todos los elementos electrónicos. Se diseñó una estructura interna del mismo material que la carcasa exterior, uniendo las caras mediante escuadras metálicas como se aprecia en la figura. Su forma se corresponde con un prisma rectangular hueco, separado en tres compartimentos: uno de dimensiones superiores en la parte central, y dos de medidas inferiores en los laterales. Además, esta estructura permite disponer de varios niveles y así poder colocar las placas de una forma organizada en función del papel que cada una iba a desempeñar. [1]



Figura 65. Carcasa estructura interior

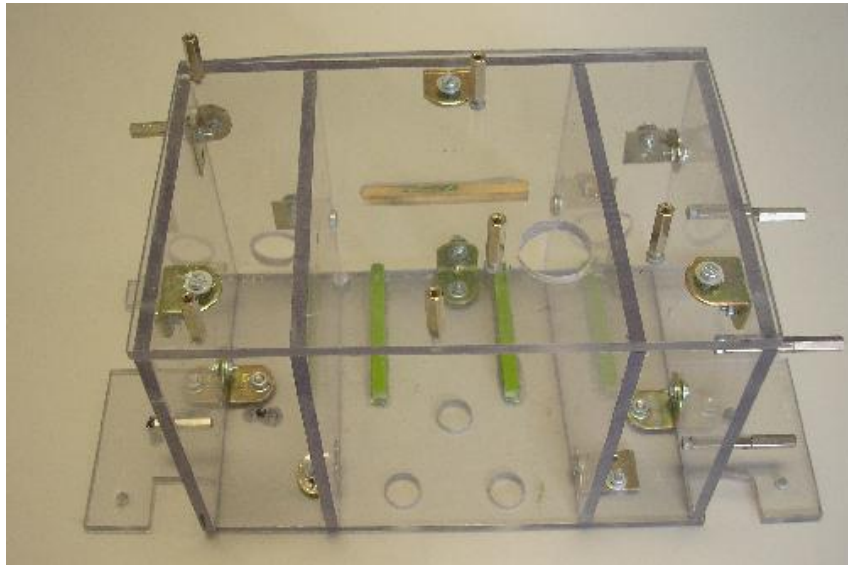


Figura 66. Carcasa estructura interior

En el compartimento central, se instaló la batería. Esta es un elemento temporal que hay que reemplazar cada cierto tiempo para su recarga. Por ello, se colocaron dos raíles sobre los que se apoyaría, facilitando el acceso a ella y su extracción del interior del robot. De esta manera ganamos en funcionalidad, lo que se traduce en reducción de tiempo en el recambio de una por otra.

La colocación de la batería, es un tanto delicada ya que es un elemento muy pesado con respecto al resto de elementos del robot. El lugar escogido fue el centro geométrico de la base del robot apoyada sobre los motores, lo más abajo posible. De este modo intentamos disminuir el centro de gravedad del robot y mantener un comportamiento simétrico en ambos sentidos de giro, además el peso añadido ayudará a mejorar la tracción de las ruedas.

En los laterales, se decidió colocar las placas de potencia y la de drivers, debido a la forma de las placas y para disminuir el cableado intentado que se encontrarán lo más cercanas posible de los motores.

En la parte superior, se colocó el sistema de control, formado por las dos placas de microcontroladores. De esta manera, se aprovechaba que los conectores pudieran tener sus salidas hacia el exterior, insertados a través de orificios en la carcasa, para poder conectar de manera rápida un cable para la programación sin tener que abrir el robot.

La siguiente figura muestra cómo queda el porta-placas finalmente con las placas montadas y sus respectivas conexiones:

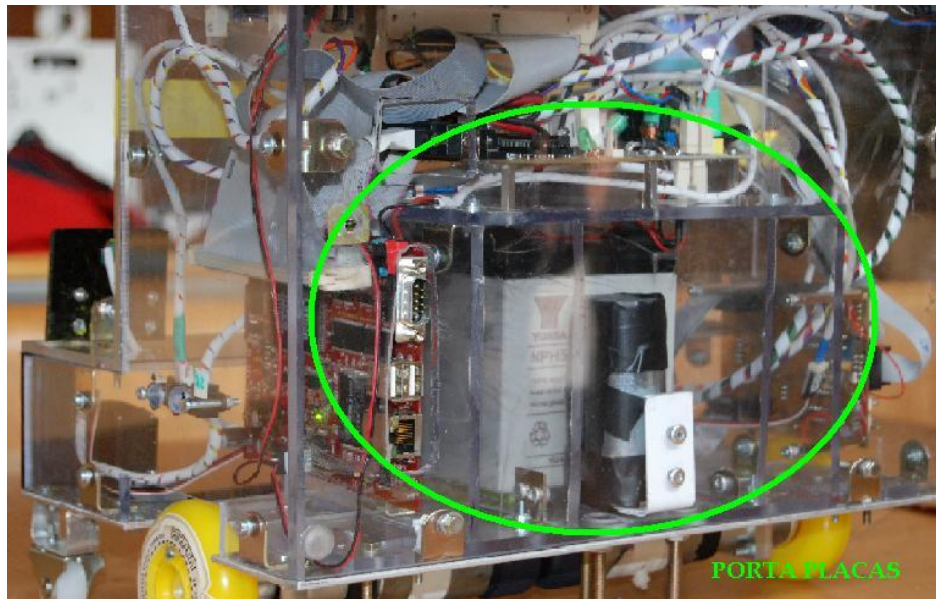


Figura 67. Estructura interior (porta-placas)

▪ ESTRUCTURA EXTERIOR

En la parte exterior, se dispusieron los diferentes sistemas de recogida de las muestras, el sistema de localización y el sistema locomotor. Todos los elementos de este último están situados bajo la base, por lo que su influencia sobre el diseño de la estructura es mínima o prácticamente nula.

Para crear el diseño exterior de la estructura primero necesitábamos conocer obviamente qué elementos queríamos recoger (*explicación detallada en "Estrategia Final" pág. 103*) y cuál era el rango de dimensiones con la que podíamos contar (*explicación detallada en el capítulo 3. Problema y solución pág. 53*):

Una vez hecho esto tomamos la decisión conjunta de crear una estructura con una forma sencilla para poder acoplar todos los sistemas sin que ninguno interfiriera en las funciones de los demás. Esta estructura se divide en dos niveles. De esta manera se separaron claramente las zonas destinadas los sistemas de recogida:

- En la parte delantera inferior la estructura tiene un vaciado con un diseño a modo de "portería", es decir, con una cara posterior y 2 caras laterales, dejando vacía la zona delantera para que se introduzcan los tomates. El larguero de esta "portería" (separación de los dos niveles) se eleva hasta una altura de 120mm , punto en el que pasamos a otro nivel.
- En el piso superior, se instaló el recoge-naranjas. Para ello disponíamos de un espacio en forma de prisma rectangular de $350 \times 100 \times 170\text{mm}^3$. Además, en esta zona también se colocaron los sensores que servían de "ojos" al robot para desplazarse por el tablero, y el bumper que haría de

actuador para que parara en el momento de depositar los tomates en el contenedor. El bumper se activaba al estar en contacto con el larguero de la portería, provocando la detención inmediata del robot.

La siguiente figura muestra como queda el contorno exterior de la carcasa:

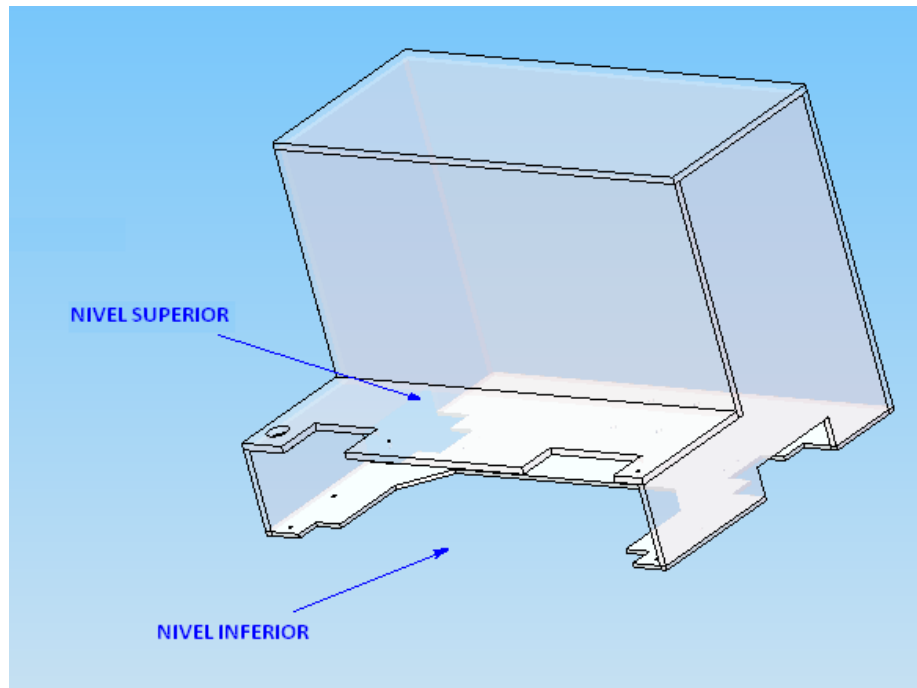


Figura 68. Diseño estructura exterior

Todas las caras se anclan mediante escuadras restringiendo el desplazamiento relativo entre ellas.

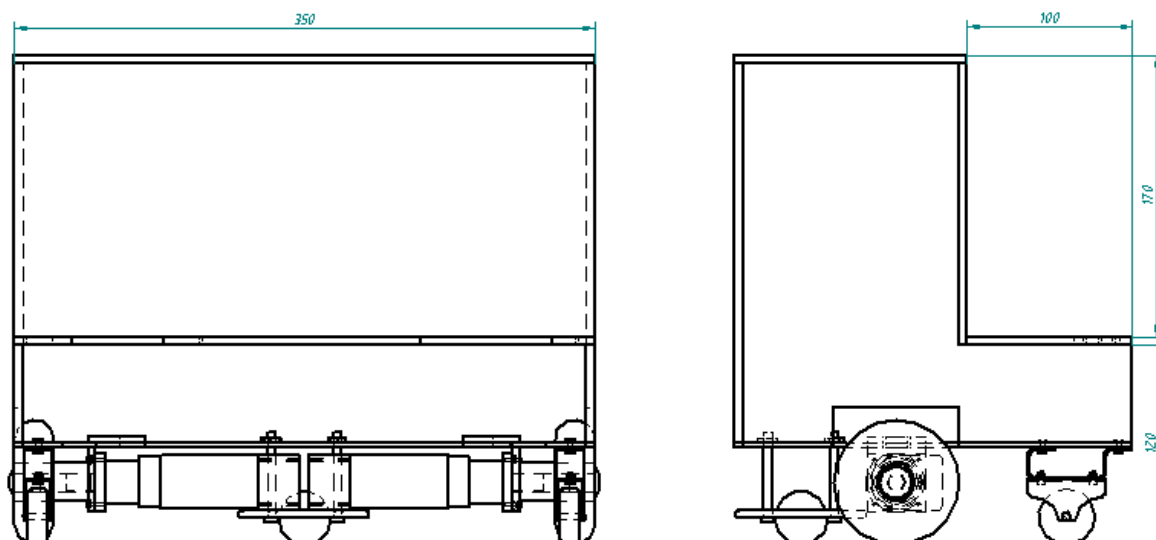


Figura 69. Vista alzado y perfil estructura exterior

Sin embargo, la funcionalidad es una de las características principales que tiene que cumplir esta parte de la estructura. De acuerdo a esta idea, la cara posterior del robot se ancló mediante 4 tornillos especiales, que permiten su extracción sin perjudicar los anclajes ni los apoyos de las demás caras. Está aislada en cierta medida, para facilitar el acceso a la batería, por el mismo motivo que en el porta-placas.

En un nivel aún superior, la zona más elevada del robot, estaba destinada a la baliza que daba soporte al sensor que el equipo contrario tiene la posibilidad de enganchar para localizar el robot contrario y evitar colisiones. A su lado se instaló también el sistema de detención inmediata del robot, representado por una seta de emergencia.

Independientemente de estos elementos, la altura final de la estructura ascendía hasta los 232mm, cumpliendo ampliamente con la normativa del concurso (350mm). La organización y limitaciones geométricas de estos elementos se observan en la figura siguiente:

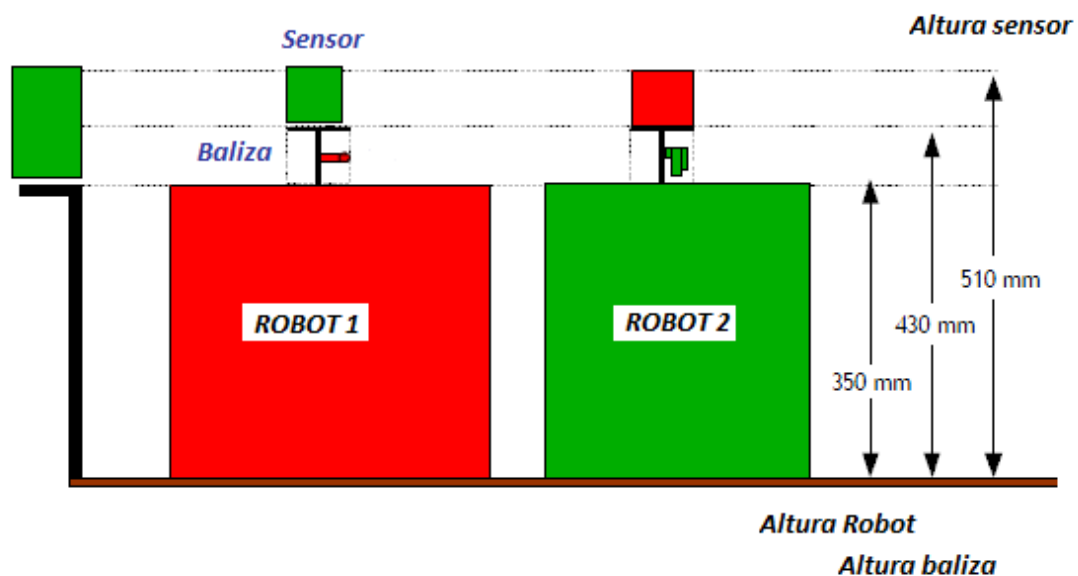


Figura 70. Esquema alturas disponibles para el robot

En las siguientes imágenes podemos ver cómo queda la estructura del robot, tanto una vista frontal como lateral:

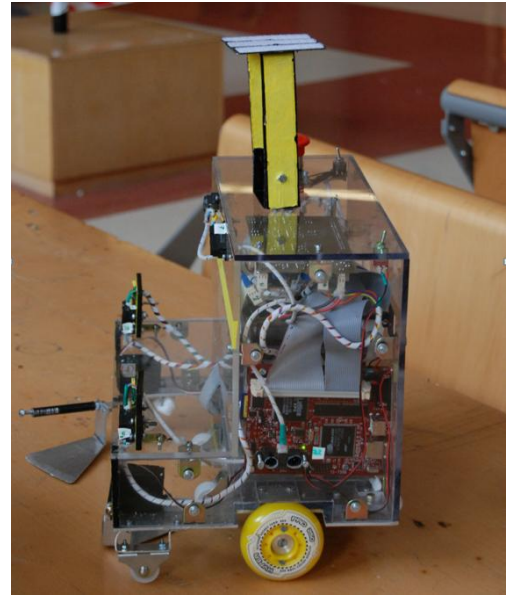
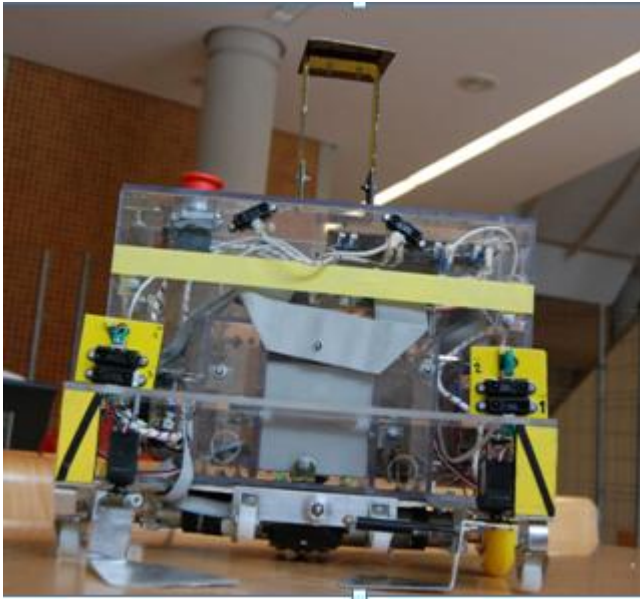


Figura 71. Capturas de "Condensador de Fluzo"



6. SISTEMAS DE RECOGIDA

Como en cualquier competición de duelos directos entre los participantes (partidos de uno contra uno), el objetivo final es hacer más puntos que el contrario. Este año el concurso ofrece la posibilidad de recolectar diferentes elementos que suman puntuación al marcador particular del equipo: naranjas, tomates y mazorcas. Así cuantas más alternativas y más recursos tengamos, más opciones tendremos de culminar nuestra finalidad con éxito.

En la búsqueda de diferentes caminos para conseguir mayor puntuación, se decidió crear sistemas de recogida independientes, es decir, sin que el fallo de uno interfiriera de forma negativa en el otro. Se diseñó un mecanismo de recogida para los tomates, principal argumento para poder ganar al contrario, y otro para las naranjas. Además se hizo una última modificación readaptando uno de los recoge-naranjas, para disponer de una alternativa más si fuera necesario y la situación lo requiriese.

A lo largo de este apartado se desarrollará una explicación más detallada de la finalidad y del proceso de modelado de cada uno de los sistemas.

6.1 ESTRATEGIA

Para poder gestionar todas las ideas y la consecución práctica de todas ellas de una manera eficaz, la base era disponer de una buena estrategia.

Como se comentó anteriormente, se tomó la decisión de recoger, por un lado, los tomates, que quizá fueran los elementos más accesibles, y por otro las naranjas. Esto es posible gracias a dos puntos fundamentales:

- Cada uno posee un sistema de almacenamiento independiente.
- El recorrido hacia las naranjas no interfiere en la trayectoria hacia los tomates, ya que es necesario volver al punto de partida después de recoger las primeras.

Este año, llegar a la zona de puntos no era tan sencillo como en años anteriores. Esto se debe a las disposiciones de “mazorcas fijas” en el tablero (*capítulo 3. Problema y solución* pág. 60). Para evitar mayores complicaciones se decidió esquivar cualquiera de ellas, ya fuera de un tipo o de otro, atravesando entre postes.

Estas maniobras requieren de movimientos muy precisos. Para ello se hizo uso de dos elementos:

- En primer lugar, los encoders, para posicionarse y saber qué dirección era la correcta.
- En segundo lugar, sensores de distancia, para detectar cualquier mazorca en el lateral o en el frente del robot.

Un punto a tener en cuenta es que la elección del color y por tanto la zona de partida, era aleatoria por decisión de la organización. Por tanto, habría que elegir un camino exactamente simétrico para que la estrategia no variase tanto si empezamos desde el color azul como si se hacía desde el amarillo.

Si nos fijamos detenidamente en el campo, existe un recorrido casi recto, relativamente sencillo, en el que podríamos recoger varios tomates. Sin embargo, aquí el robot estaría “perdido” durante gran parte de el tiempo por no encontrar referencias cercanas que le ayuden a posicionarse, y dependería únicamente de los encoders. Por experiencia de años atrás, los encoders tienen un porcentaje de fallo importante, por lo que esta posibilidad se desechó.

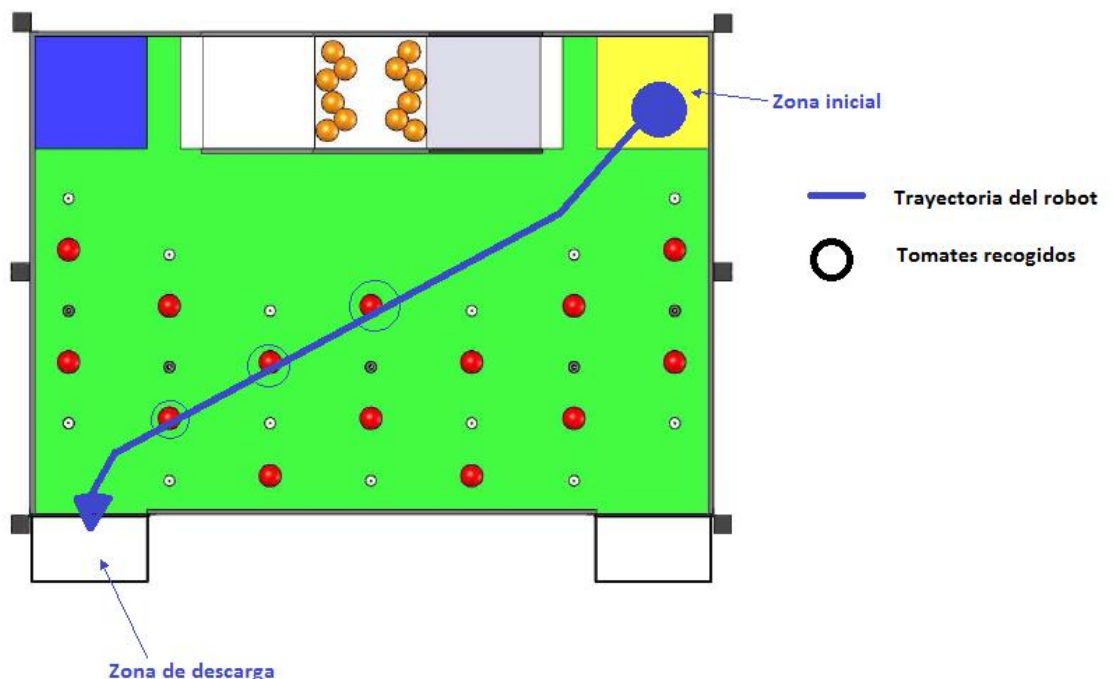


Figura 72. Estrategia inicial

Así que estudiaremos otras opciones más fiables para poder llegar a la cesta. Evaluando que los sensores de distancia tenían menores posibilidades de error, se decidió crear una estrategia en la que cobrarán una mayor importancia.

Finalmente se decidió tomar un camino sorteando las mazorcas como podemos observar en la figura siguiente (2ª trayectoria). En este caso el robot estaba posicionado en todo momento usando como guía las mazorcas que iba dejando a su paso. Las pelotas rodeadas con un círculo de color morado son los tomates que nos encontraríamos de camino. Las puntos que representan las mazorcas utilizadas de referencia están señaladas con un círculo azul en la figura.

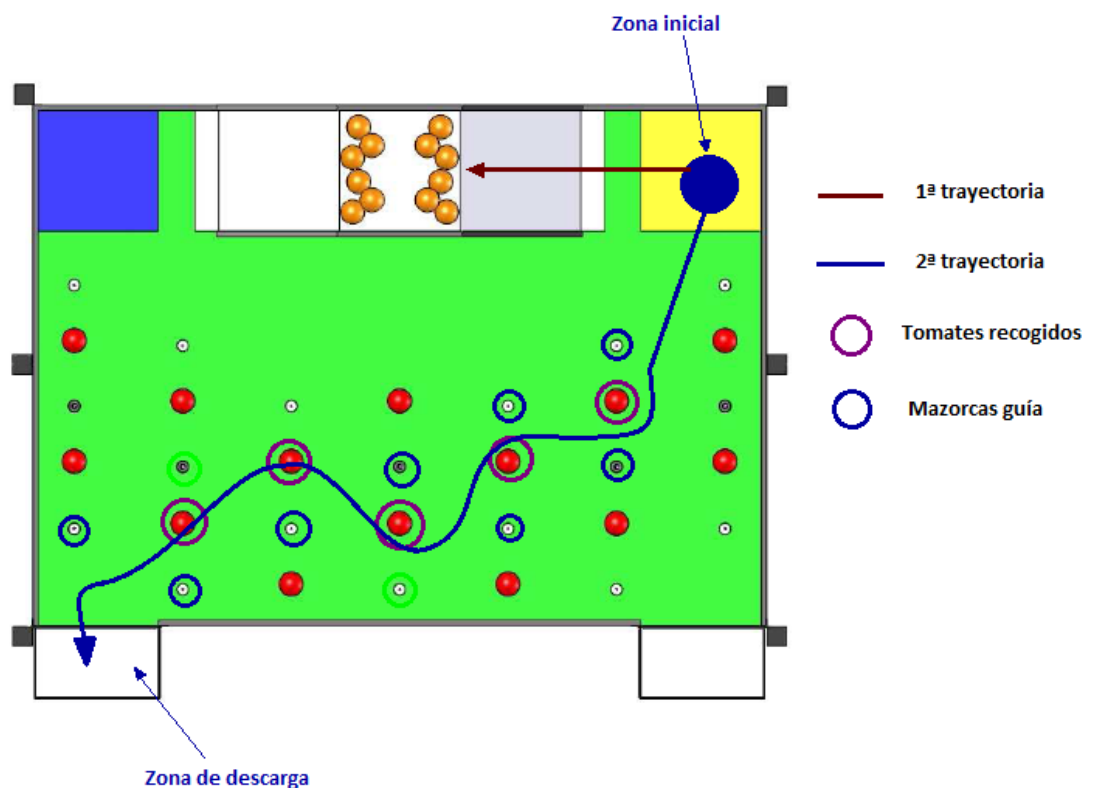


Figura 73. Estrategia final

Además, se decidió crear otra estrategia adicional (1ª trayectoria) y totalmente complementaria con la anterior, que nos diera la posibilidad de recoger más puntos. Esta comprende desde la salida del robot, su subida a la rampa, su detención en la zona de recogida y la bajada hasta posicionarse de nuevo en la zona inicial.

6.1.2 HOMOLOGACIÓN

Un aspecto importante previo al concurso era la homologación. Consistía en dos pruebas principales:

- Revisar si el robot cumple la normativa establecida en la reglamentación del concurso, especialmente si cumple con las normas geométricas.
- Poniendo un único robot en marcha en el tablero, es decir, fuera de la competición, conseguir sumar al menos un punto sin limitación de tiempo.

Para la consecución de la segunda prueba, la estrategia elegida (*estrategia de homologación*) sigue las mismas pautas que la estrategia de partido con una puntualización: en este caso, el robot no intenta recolectar naranjas y sigue la trayectoria hacia los tomates únicamente debido a que sólo es necesario conseguir introducir un elemento en la cesta. [4]

6.2 MECANISMO RECOGE-NARANJAS

Uno de los sistemas independientes que adaptaron para recolectar “comida” fue lo que denominamos el “recoge-naranjas”. Este mecanismo consiste en un brazo mecánico de dos grados de libertad capaz de realizar un movimiento circular en torno a un eje con el fin de expandirse, en el momento de realizar su cometido, y recogerse cuando no lo haga.

En este apartado vamos a explicar su función, su proceso de construcción, los elementos que lo componen y su modo de actuación.

6.2.1 VIABILIDAD DEL SISTEMA

Uno de las primeras cuestiones que nos tuvimos que plantear para su construcción era comprobar que realmente este sistema era viable. Para ello se realizó un estudio evaluando las condiciones en las que el “recoge-naranjas” iba a trabajar, especialmente analizando las posibilidades geométricas que podíamos aprovechar.

La zona destinada para su colocación es lo que hemos denominado nivel intermedio como apreciamos en la figura. Podemos observar también que se han hecho dos recortes (vaciados) en la plancha que sirve de base a este sistema, donde se

colocarán los brazos mecánicos respectivamente. El de la derecha, según vemos la imagen, se corresponde con el brazo destinado a recoger naranjas exclusivamente, mientras el de la izquierda es una adaptación para poder recolectar mazorcas también. El taladrado que se observa en la parte izquierda es el hueco de un servomotor. [2]

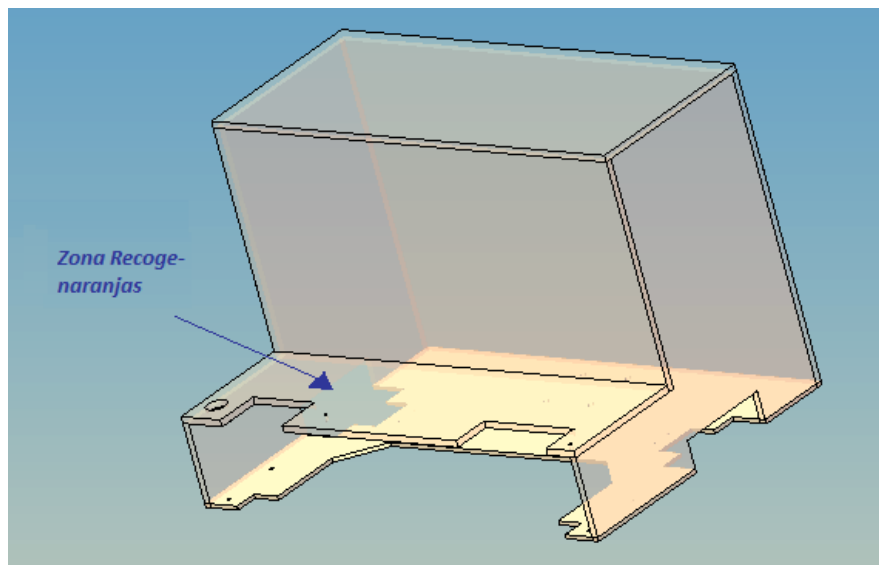


Figura 74. Zona destinada al almacenaje de naranjas

Primero cabe destacar que por limitaciones de espacio, únicamente podríamos acceder a las 2 naranjas más cercanas a la rampa. El perímetro máximo permitido con el robot extendido no puede superar los 1400mm (*explicación detallada capítulo 3. Problema y solución pág. 63*). Por esta razón, se calculó la longitud del brazo en su máximo punto de extensión:

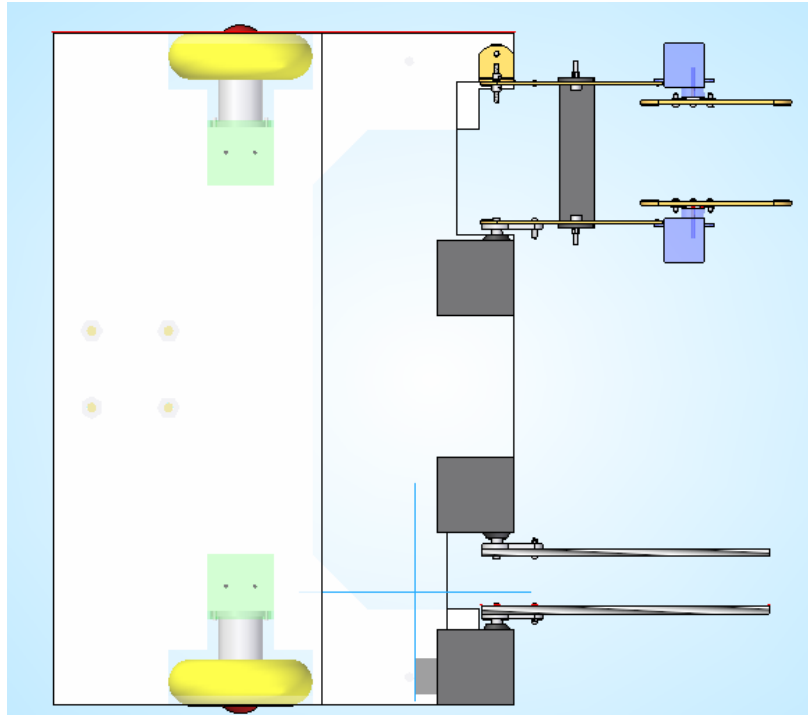


Figura 75. Vista planta del robot

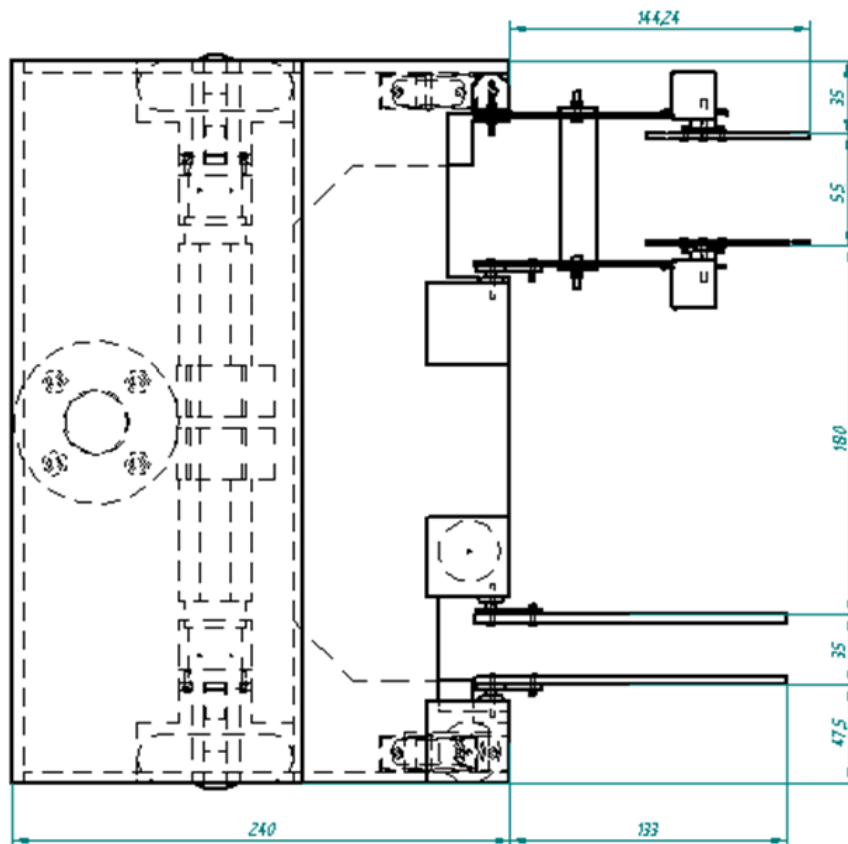


Figura 76. Plano vista planta del robot

Observando y analizando el plano de distribución de los soportes de las naranjas, en ningún caso podríamos llegar a las filas intermedia o última. Además, por la cercanía entre soportes, correríamos el riesgo de choque con una alta probabilidad, siendo una jugada muy poco fiable que no interesa (*obsérvese Figura 77 y 78*).

Una vez descartadas las naranjas comentadas anteriormente, y conocida la longitud del brazo mecánico, debimos cerciorarnos de que realmente es posible alcanzar las dos naranjas objetivo y que el modo en que se recogerían es eficaz. Para ello realizamos una serie de cálculos una vez el robot estuviera detenido en la rampa en la posición deseada, es decir, lo más cerca posible del tramo plano (sin acceder a él por cuestiones de seguridad y estabilidad). A continuación se detalla una breve explicación de los problemas que debíamos resolver y las soluciones propuestas:

➤ **Colocación del robot**

Es condición indispensable encarar bien el soporte para que quede entre los 2 raíles del brazo mecánico. La anchura entre estos debe ser mayor al diámetro del cilindro soporte, dejando siempre cierta holgura. La distancia de los vaciados donde van a trabajar los recoge-naranjas está condicionada totalmente por la separación entre los soportes de las naranjas. Por tanto, la distancia entre los centros geométricos de unos y de otros es exactamente la misma.

En el plano anterior, podemos observar la distancia de los primeros:

$$d_1 = 179 + \frac{35}{2} + \frac{55}{2}$$

$$\mathbf{d_1 = 225\ mm}$$

La distancia entre soportes la podemos obtener de la hoja técnica de dimensiones adjuntada en la normativa:

$$d_2 = 100 + 75 + 50$$

$$\mathbf{d_2 = 225mm}$$

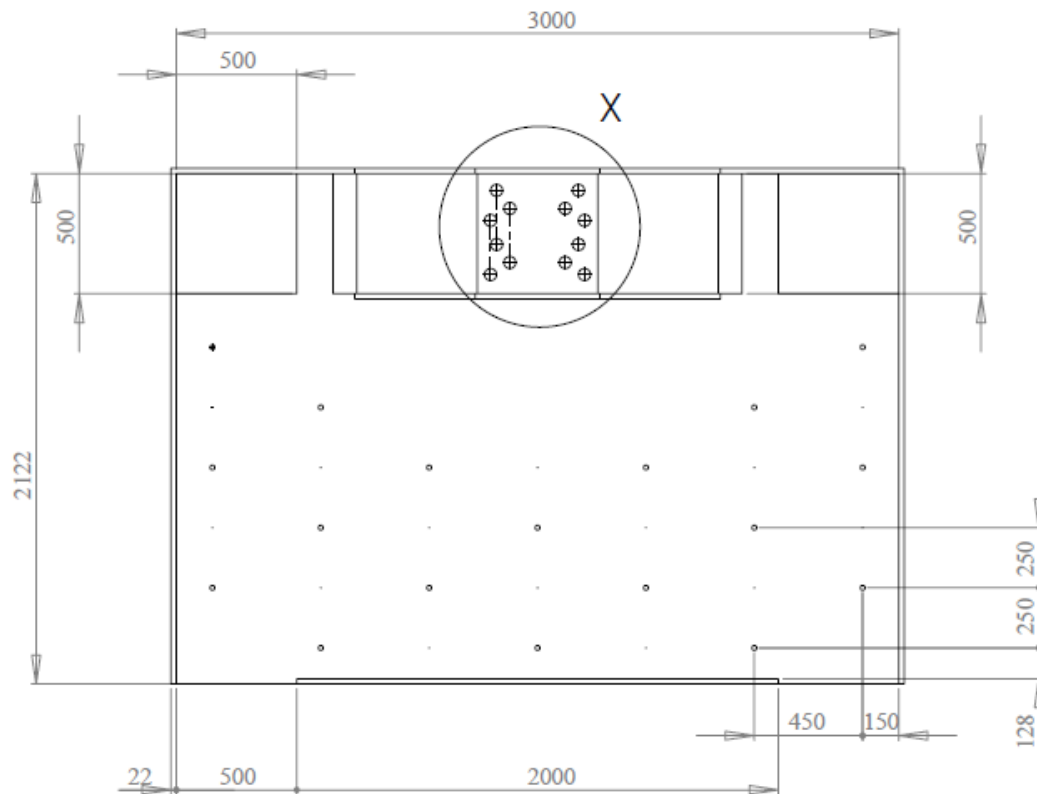


Figura 77. Plano dimensiones del campo de juego

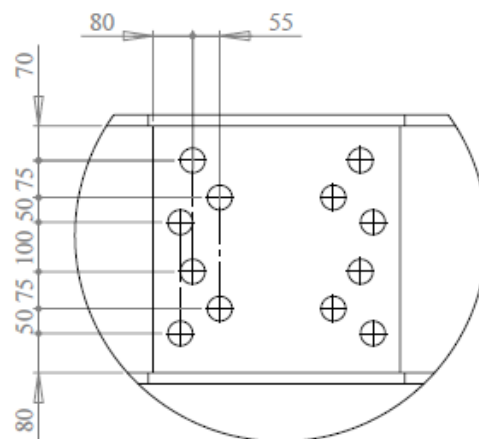


Figura 78. Detalle plano de dimensiones del campo de juego

➤ Longitud del recoge-naranjas

Otro aspecto destacable fue comprobar cuál era la posición ideal de detención del robot en la rampa y si el brazo comprendía la longitud suficiente para lograr su cometido. Recordar que la longitud del brazo (L) no se puede alargar más por la normativa del concurso. Se valoró este aspecto haciendo cálculos con los ángulos y las distancias conocidas según las siguientes expresiones:

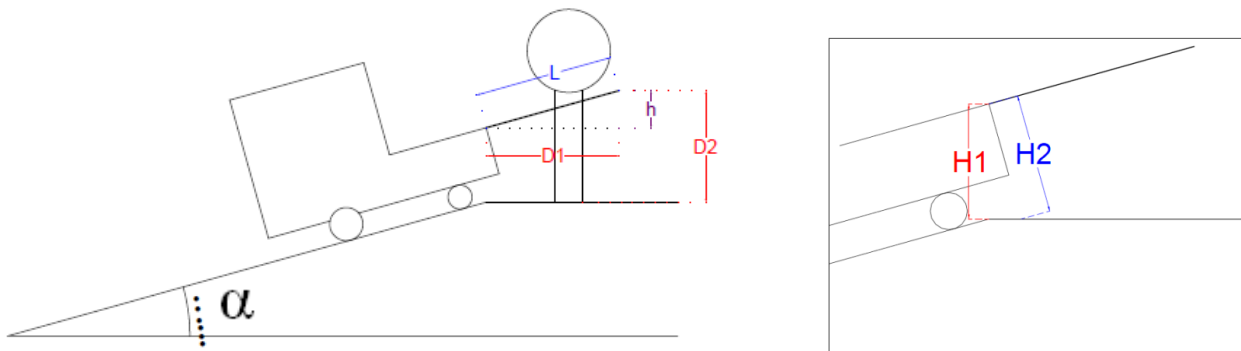


Figura 79. Perfil conjunto robot-soportes y detalle parte delantera del robot

La distancia mínima que debe cumplir el brazo será la suma distancia desde cambio de nivel al soporte más diámetro soporte:

- $D_{\text{minima}} = 80 \text{ mm}$
- $\text{Ángulo de la rampa} = 15,64^\circ$
- $\text{Altura del robot } H_2 = 145,69 \text{ mm}$
- $\text{Longitud del brazo} = 144,24 \text{ mm}$

Por tanto, la proyección de la longitud del brazo en una línea paralela al suelo (D_1), como se aprecia en la figura anterior, deberá ser mayor que la distancia anterior:

$$D_1 > D_{\text{minima}}$$

$$D_1 = L * \cos \alpha = 144,24 \text{ mm} * \cos(15,64)$$

$$\mathbf{D_1 = 138,9 \text{ mm}}$$

Además vamos a calcular a qué altura queda el brazo respecto del suelo (D_2):

$$\mathbf{D_2 = H_1 + h}$$

Calculamos H_1 :

$$H_1 = H_2 * \cos \alpha = 140,3 \text{ mm}$$

Calculamos h:

$$\sin \alpha = \frac{h}{L} ;$$

$$h = L * \sin(15.64) ;$$

$$h = 39 \text{ mm}$$

Por tanto, la altura total D_2 es:

$$D_2 = 140.3 \text{ mm} + 39 \text{ mm}$$

$$D_2 = 179.3 \text{ mm}$$

➤ *Altura de los soportes*

Al ser los soportes primeros los más pequeños, otro problema que se nos presenta es la altura. En la siguiente imagen nos muestra un esquema de las alturas de los soportes. [4]

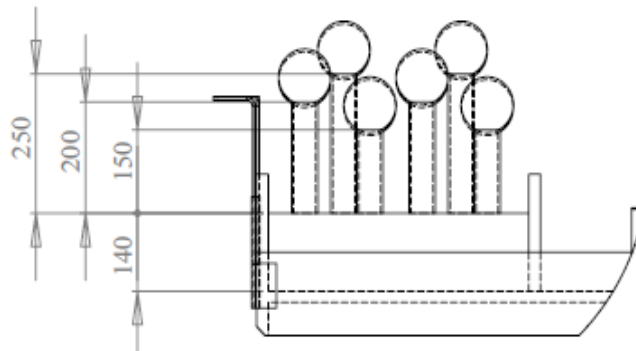


Figura 80. Altura de los soportes

Para lograr que el recoge naranjas realice de forma correcta su objetivo, siempre debe quedar por debajo de la pelota:

$$D_2 < 150 \text{ mm}$$

Como hemos visto en el apartado anterior, esta hipótesis no se cumple en caso de que el brazo vaya completamente paralelo al suelo de la rampa, impidiendo realizar el movimiento que la desplazaría hasta el lugar de almacenamiento en el robot.

Como observamos en la siguiente figura, la altura del robot desde el suelo hasta el recoge-naranjas es menor que la de los soportes. Sin embargo, el margen en el que podemos movernos es mínimo, del orden de unidades de milímetro.

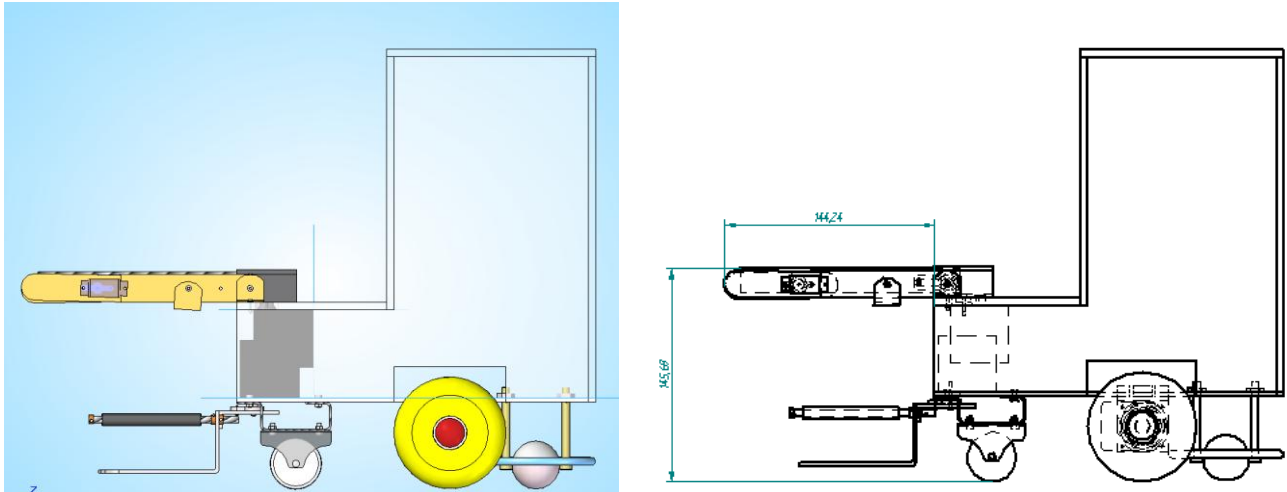


Figura 81. Perfil del robot y dimensiones

Para solucionar este problema, se estipuló que la posición del brazo en el momento formará con la pared frontal un ángulo menor de 90° , de forma que quedara de forma paralela al tramo sin inclinación donde se apoyaban los soportes de las naranjas.

En la siguiente imagen correspondiente al perfil del robot en la rampa, podemos observar esta modificación.

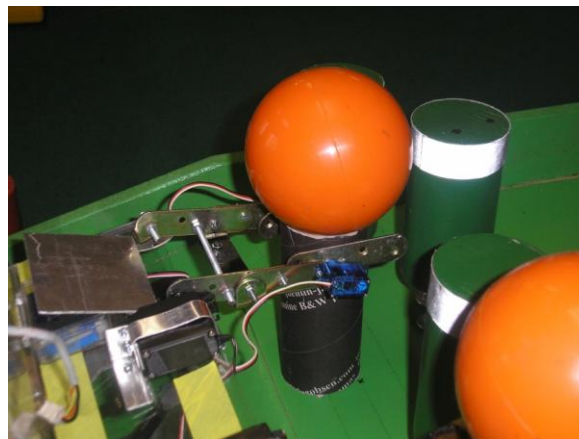


Figura 82. Brazo mecánico recogiendo pelota naranja

6.2.2 PIEZAS MECANISMO "RECOGE-NARANJAS"

Una vez comprobada la viabilidad de este sistema y calculadas las dimensiones que lo definen, el siguiente paso es su diseño. Para ello se modeló un prototipo en el programa Solid Edge para después pasar a su construcción.

El brazo mecánico, está definido por dos grados de libertad, está formado por dos articulaciones. En esta parte vamos a enumerar y explicar la función que desempeñan los diferentes elementos que lo componen: [2]

➤ *Raíles porta-pelotas*

Es la parte externa del sistema encargada de golpear suavemente las pelotas de malabares y conducirlas mediante las vías hasta el lugar donde se depositarán en el robot. Están constituidos por dos raíles paralelos largos y otros dos más cortos en la parte final. Forman los eslabones del mecanismo y están unidos por los servomotores. Esta separación tiene el objetivo de poder contraer el brazo en el momento de su recogida para no interferir en los sensores de la parte frontal del robot, y además facilitar el empuje de las pelotas para desengancharla del soporte con la inclinación deseada.

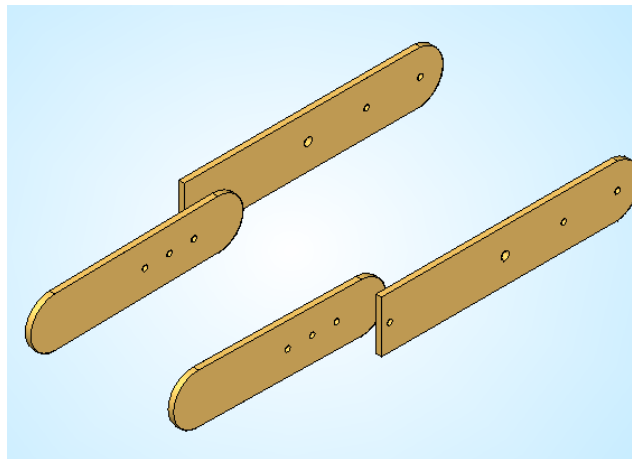


Figura 83. Raíles porta-pelotas

➤ *Servomotores*

Son los accionamientos que dan movimiento al brazo. Un servomotor (también llamado *Servo*) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Están alimentados

desde la placa de control y nos permiten seleccionar la posición del recoger naranjas en función de las necesidades del partido. [22]



Figura 84. Servo-motor Futaba 3010

Como podemos apreciar en la imagen, hemos seleccionado un servo FUTABA 3010. Estos servomotores tienen un rango de trabajo de 180° , y por tanto es perfectamente válido en base al espacio que tiene que recorrer nuestro brazo. Además la segunda articulación está provista de otros dos mini-servos (ROBE 8554) con un menor torque, con el fin de contraerse y ocupar menos espacio cuando no trabaje, además de facilitar la caída de las pelotas hacia los raíles a través de su movimiento. [22]

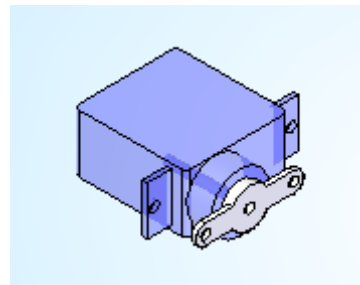
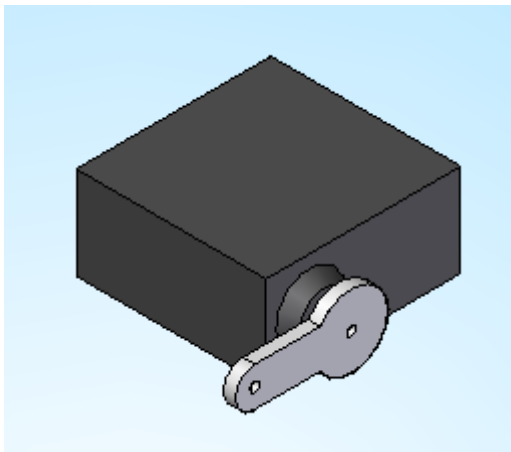


Figura 85. Servo-motores modelados con Solid Edge

El motivo de elección de estos servomotores se explica detalladamente en el apartado de “cálculos”, basándonos en los requerimientos de par necesarios para nuestro sistema.

➤ **Travesaño de unión**

Únicamente se ha instalado un servomotor para el movimiento de todo el brazo mecánico. El motivo ha sido por razones de cálculo, ya que el servomotor es capaz de sostener toda la carga como veremos más adelante, y que la inclusión de otro servo podría producir complicaciones debido a que debían moverse simultáneamente.

Por esta razón, se ha pensado realizar la transmisión de una vía a otra mediante un travesaño rígido, del mismo material que los anteriores. De esta manera nos asegurábamos que las dos partes del brazo trazaban un movimiento idéntico.

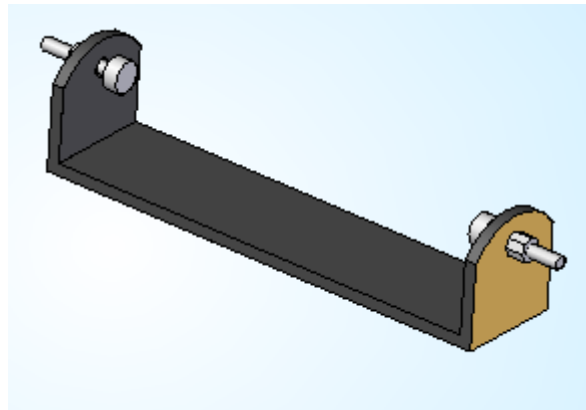


Figura 86. Travesaño de unión modelado con Solid Edge

Además tiene una segunda función. El robot debe detenerse en el lugar adecuado en la rampa. El travesaño actúa de tope una vez se produzca el contacto entre el robot y el soporte de las pelotas, para no derribarlo. La detención se producirá mediante un sensor de contacto. El sensor final de carrera o sensor de contacto son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. [3]



Figura 87. Bumper GP 2D12

➤ **Rodamiento anclado a la base**

Permitir el movimiento del raíl conducido de forma idéntica al otro exige que pueda girar respecto a un punto sin restricciones. Por ello, se ha diseñado un sistema que imita las funciones de un rodamiento. Se ha fijado este raíl a la base, a la misma altura que el punto de unión del servo con el otro raíl del recoge-naranjas, restringiendo todos los movimientos lineales mediante una unión fija. Sin embargo a través de un eje compuesto por dos topes permite el movimiento circular de todo el brazo.

La unión consiste en una escuadra rígida, similar a la que une los raíles y el travesaño, con un taladro que permite la inserción del eje.

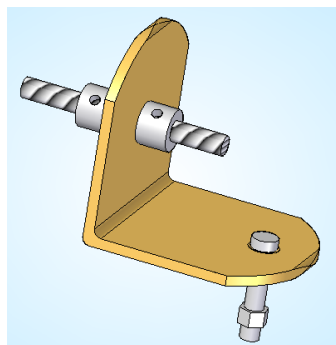


Figura 88. Rodamiento modelado con Solid Edge

Finalmente el modelado de todo el conjunto realizado con *Solid Edge* con todos los elementos fijados queda:

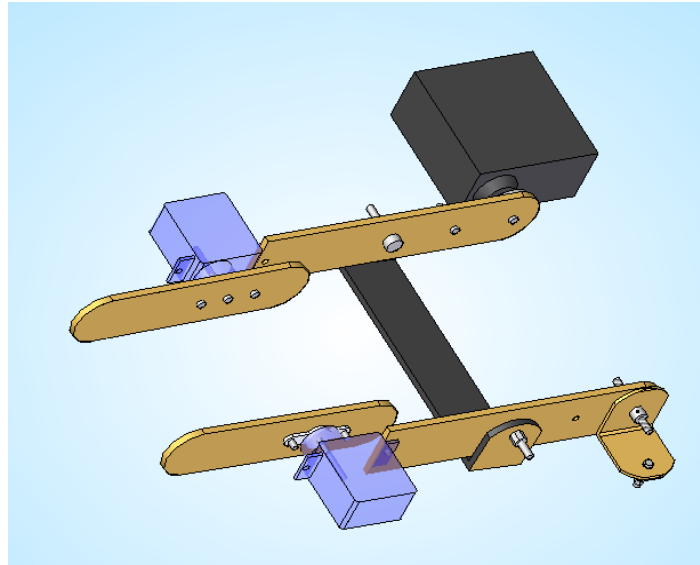


Figura 89. Mecanismo recoge-naranjas modelado con Solid Edge

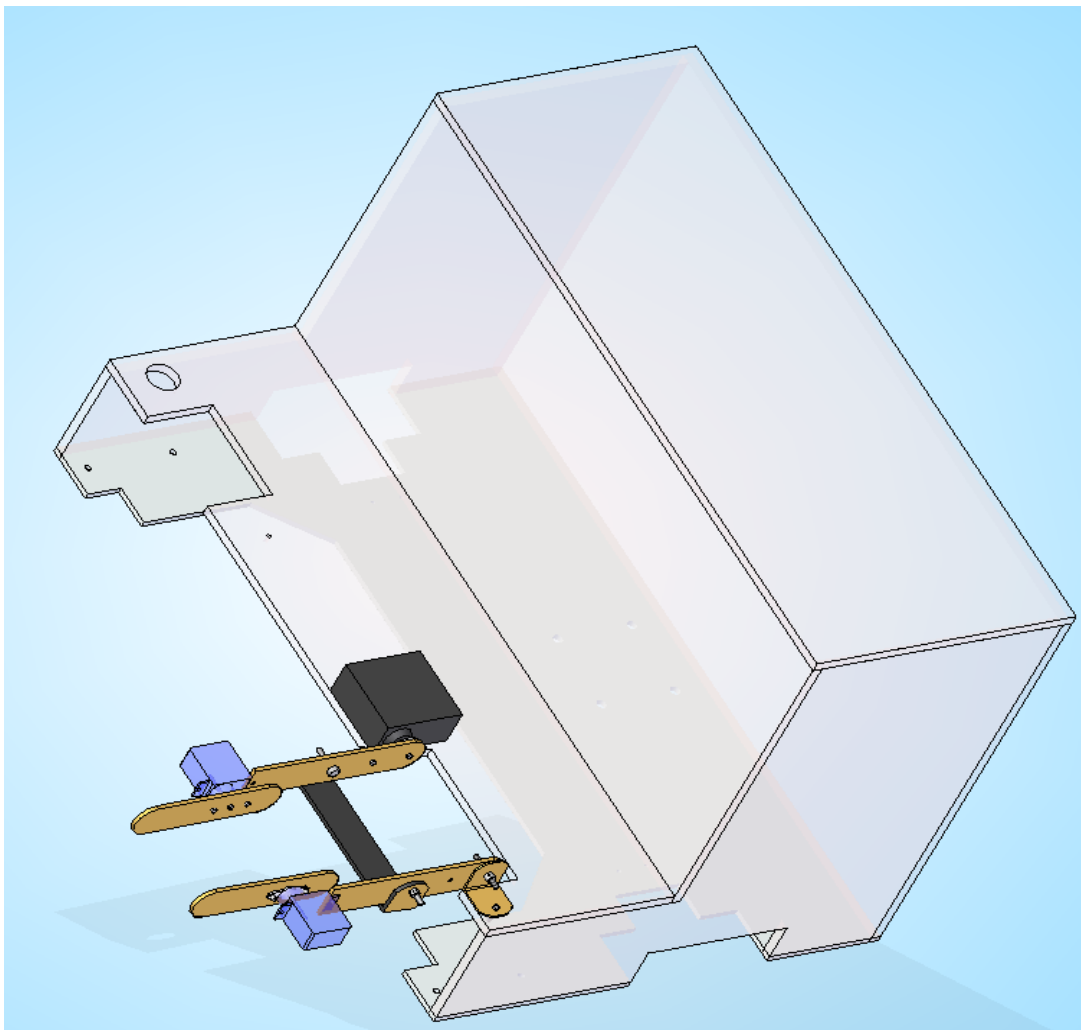


Figura 90. Mecanismo recoge-naranjas integrado en el robot modelado con Solid Edge

6.2.3 DIAGRAMA DE ESTADOS

En este punto explicaremos el modo de actuación del recoge-naranjas, es decir, las diferentes fases o pasos por los que pasará para tener un correcto funcionamiento. Este actuará en dos fases del partido fundamentalmente: primero al inicio del partido, para recoger las naranjas; y segundo, para depositarlas en el contenedor.

➤ **Recogida de las naranjas**

1. *Antes del inicio del partido, el robot ya se encuentra en la posición correcta, siempre dentro del cuadrado que limita su salida, para ascender por la rampa y dirigirse hacia la zona de las naranjas. Tiene la peculiaridad de estar completamente recogido para cumplir con la normativa.*
2. *Una vez arranca el encuentro, el robot despliega el brazo mecánico. Realiza un movimiento de 140º grados aproximadamente en sentido horario. No puede bajar en exceso ya que de lo contrario al subir la rampa podría chocar contra el suelo sufriendo desviaciones en la trayectoria, lo que es peor, dañar el sistema. Como el robot ya está orientado desde la salida, sube la rampa y se detienen en el momento que el bumper hace contacto con el soporte de las naranjas.*
3. *Se produce una flexión del brazo pequeño de unos pocos grados (25 aproximadamente) para empujar con más fuerza la naranja desde su parte posterior y facilitar su caída a los raíles.*
4. *La articulación mayor del brazo empieza realizar su movimiento circular para que la naranja se desencaje de su soporte, se deslice por las vías del sistema y se almacene en el lugar del robot determinado para ello. Este movimiento quizá sea el que más riesgo tenga de caída de la naranja fuera del lugar que queremos, por ello no debe ser un movimiento brusco y sobre todo que se haga de forma continuada para que no existan choques pelota - recoge-naranjas que pudieran ocasionar esto.
Se ha colocado una rampa situada en la base del robot sobre la que se apoyara la pelota para facilitar su almacenamiento y así, cuando el brazo cese en su apriete, caiga al depósito por gravedad con mayor facilidad.*
5. *Por último, una vez la pelota está situada en el lugar de almacenamiento el brazo la aprieta de forma leve contra la pared (45º aproximadamente desde el momento que cae la naranja hasta que se produce el apriete final) para que quede fija y no hay ningún riesgo de pérdida durante el resto del recorrido. Además, la articulación pequeña también realiza un giro para contraerse para fijar más si cabe la pelota contra el robot.*

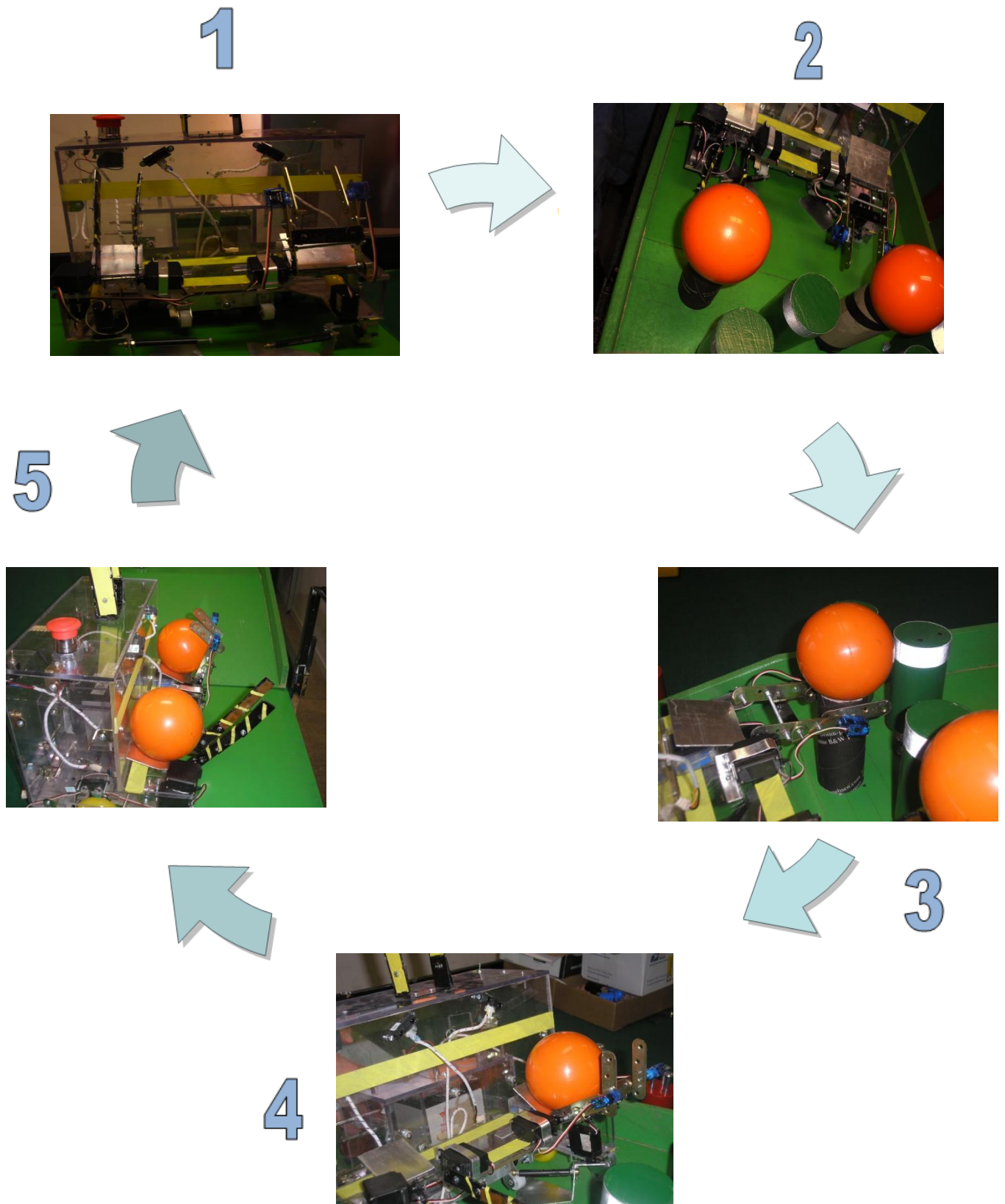


Figura 91. Diagrama de estados recogida de pelotas naranjas

➤ Colocación de las naranjas en el depósito

Esta acción se produce en el momento en que el robot llega hasta al contenedor para soltar las pelotas recogidas y almacenarlas para su recuento posterior. El modo de funcionamiento del brazo en esta ocasión sigue una cronología muy parecida al anterior. A continuación lo explicamos paso por paso:

1. *El robot con las pelotas recogidas y bien sujetas por los sistemas correspondientes, encara la portería una vez ha sobrepasado la última mazorca, soporte que le sirve de referencia para realizar los giros. Fluzo se detiene en el instante que choca contra el larguero de la portería y se presiona el bumper que obliga a su detención.*
2. *En este punto también se produce el depósito de las pelotas de color rojo (se explicara en el apartado correspondiente). El brazo realiza un movimiento de despliegue para descender el brazo lo máximo posible, liberando las naranjas y posibilitando su descenso por gravedad hasta el contenedor.*
3. *Una vez se haya producido el almacenamiento, el robot retorna el recoge-naranjas a su posición inicial y vuelve a la zona de puntos para intentar alcanzar alguna pelota más y sumar de esta manera más puntos.*

Para conseguir que tanto uno como otro proceso se realicen de forma correcta es necesario una gran precisión en los movimientos del brazo. Para ello nos hemos ayudado de un programa realizado por nuestro equipo informático, que nos permitía controlar en todo momento la posición de éste tomando un punto de referencia y a partir de ahí, ordenar al recoge-naranjas los giros que queríamos que hiciese, tanto el valor del ángulo como el sentido de giro.

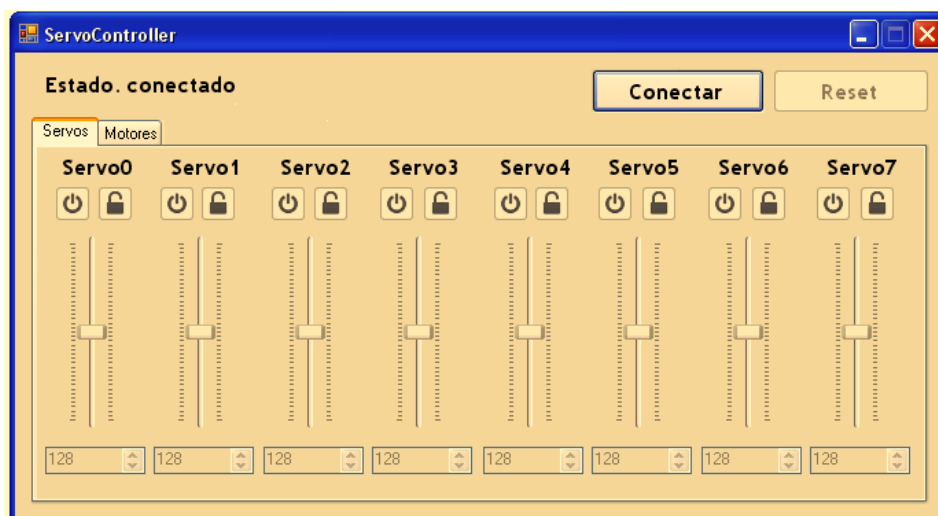


Figura 92. Interfaz programa controlador de servo-motores

6.2.4 CÁLCULOS

Recoger las pelotas naranjas es una tarea con diferentes complicaciones geométricas como hemos podido observar en los apartados previos. Sin embargo, su peso también supone una de las mayores limitaciones. El brazo articulado del robot únicamente cuenta con un punto de apoyo, su unión a la base del robot. Por tanto, cuando la pelota este situado sobre el creará esfuerzos que este deberá soportar para no sufrir complicaciones (posibles fisuras en su estructura en los puntos de concentración de tensiones, desajuste de las uniones robot-recoge naranjas, caída de la pelota por falta de fuerza del brazo...).

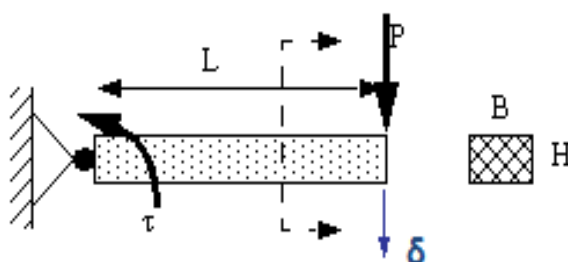
El estudio deberá realizarse a lo que hemos denominado “carga útil”. La carga útil indica la masa máxima que el robot puede alcanzar antes de cualquier fracaso o pérdida de exactitud. Es posible exceder la carga útil máxima, y todavía el microrobot puede operar, pero esto no se aconseja. Cuando el robot está acelerando rápidamente, la carga útil debe ser menos de la masa máxima. Debemos definir tanto los elementos que son susceptibles de ser recogidos como la estructura del robot que se verá sometida a esfuerzo. Por tanto, el grupo que formará la “carga útil”, comprenderá la pelota y todo el conjunto de elementos que forman el brazo mecánico, desde su unión hasta el extremo.

6.2.4.1 EFECTOS GRAVITATORIOS

Sabemos que el recoge-naranjas posee 2 raíles en los laterales unidos por un travesaño. Para el estudio de los esfuerzos a los que está sometido, y debido a la forma y simetría de este, lo simplificaremos a una viga en voladizo con una carga en el extremo (peso de la naranja), como se puede apreciar en la siguiente figura.

Primero calcularemos la desviación vertical que sufre el mecanismo debido a los esfuerzos gravitatorios, los debidos al peso de la pelota como los sufridos por el peso propio del sistema:

➤ Efectos gravitatorios por peso pelota



P = peso de la pelota naranja (300gr)

L = longitud del brazo

B = base de la sección del brazo articulado

H = altura de la sección del brazo articulado

δ = desplazamiento vertical del extremo de la viga

El peso de la pelota producirá una desviación vertical dependiente del momento de inercia de la sección y del modulo de Young del material del *recogeenaranjas*. Siendo el peso *300grs*, la longitud *144,24mm*, la distancia B y H de la sección *19 y 2 mm* respectivamente, hallaremos el desplazamiento vertical:

- Modulo elasticidad del acero: $E = 2.100.000 \text{ Kg/cm}^2$

$$I = \frac{B \cdot H^3}{12} ; \quad I = 1143,2 \text{ mm}^4$$

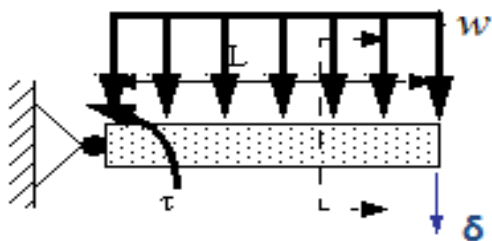
Con los valores obtenidos del momento de inercia y del módulo de elasticidad, podemos calcular el desplazamiento vertical con el *2º Teorema de Mohr*, según la expresión:

$$\delta_{\text{pelota}} = \frac{P \cdot L^3}{3EI} = \frac{0.300 \text{ Kg} \cdot 144,24^3 \text{ mm}}{3 \cdot 210 \cdot 10^5 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \cdot 1143,2 \text{ mm}^4} ;$$

$$\delta_{\text{pelota}} = 1,251 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$$

➤ Efectos gravitatorios por peso propio del mecanismo

El brazo tendrá un peso específico distribuido a lo largo de este, y definido por la masa por unidad de longitud, que habrá que tener en cuenta en los cálculos de la flecha para comprobar su viabilidad:



δ = desplazamiento vertical del extremo de la viga

W = peso propio del brazo

- Densidad acero: $\rho = 7,9 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3} = 7.9 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^3}$
- Sección: $S = b \cdot h = 19\text{mm} \cdot 2 \text{ mm} = 38 \text{ mm}^2$

Para conocer el peso del brazo, primero debemos saber qué carga por unidad de longitud se está ejerciendo. Este valor lo podemos obtener a partir de la densidad del material:

$$W_{railes} = \rho * S = 7.9 * 10^{-6} \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^3} * 38 \text{ mm}^2 ;$$

$$W_{railes} = 3.002 * 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{mm}}$$

Utilizando el mismo teorema que en el caso anterior, calculamos la flecha vertical de una viga en voladizo con carga distribuida según la expresión:

$$\delta_{railes} = \frac{W_{total} * L^4}{8EI} = \frac{0.0513 \text{ Kg} * 144,24^4 \text{ mm}}{8 * 210 * 10^5 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} * 1143,2 \text{ mm}^4}$$

$$\delta_{railes} = 6.766 * 10^{-7} \text{ mm}$$

Para realizar este cálculo, hemos despreciado la influencia de los mini-servos, debido a que su peso es muy inferior al de los raíles y pelota, del orden de:

$$W_{mini-servos} = 0.008 \text{ Kg} \ll W_{railes} = 0,0866 \text{ Kg}$$

El desplazamiento vertical finalmente queda:

$$\delta_{total} = \delta_{pelota} + \delta_{railes} = 1,25 * 10^{-5} \text{ mm} + 6.766 * 10^{-7} \text{ mm}$$

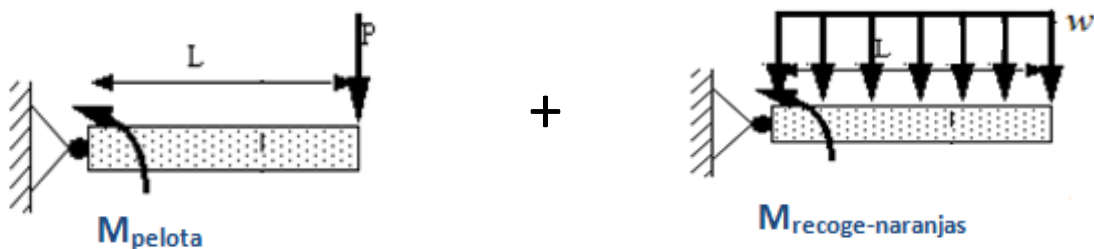
$$\delta_{total} = 8.0161 * 10^{-5} \text{ mm}$$

Como podemos observar en los resultados, el desplazamiento vertical que se va a producir en el instante de recoger la pelota va a ser prácticamente cero. Por tanto, este aspecto no va a suponer un problema para el control del movimiento del servo encargado de levantar el recoge-naranjas.

6.2.4.2 MOMENTO A VENCER

Ya hemos visto la flecha que se creará en nuestro sistema, y podemos afirmar que no es crítica para nuestros intereses, o tendrá una importancia relativa. Sin embargo lo realmente importante es que seamos capaces de vencer el momento al que se someterá el mecanismo cuando recojamos las naranjas. Es lo que vamos a ver en este apartado.

Cuando la pelota caiga en el brazo creará un par flector que el mecanismo tiene que ser capaz de contrarrestar de manera eficaz. Tendrá que tener la capacidad de elevar la pelota de una forma continuada, sin tirones o golpes para evitar riesgos como que se pueda caer al suelo o que no se almacena en el lugar del robot destinado a ello. El planteamiento inicial lo realizamos siguiendo las mismas pautas que en el caso anterior, suponiendo una viga en voladizo. El momento total será el creado por el peso de la pelota más el peso del recoge-naranjas:



La situación más crítica (instante en que el sistema esté sometido a mayor carga) se producirá justo cuando la pelota este más alejada del robot, ya que la pelota en este instante no tiene inercia y se encuentra bien apoyada en su soporte, y la distancia al robot es la más amplia posible, aumentando consecuentemente el par. A continuación vamos a calcular el momento flector total que debemos vencer:

$$\sum M = 0 \longrightarrow M_{total} = M_{pelota} + M_{recoge-naranjas} ;$$

$$M_{total} = P * L + w * L * \frac{L}{2} ;$$

$$M_{total} = (0.300 \text{ Kg} * 14.424 \text{ cm}) + (3.002 * 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{mm}} * 144.24\text{mm} * \frac{14.424}{2} \text{cm})$$

$$M_{total} = 4,639 \text{ (Kg * cm)}$$

- **NOTA:** Se ha calculado el par en unidades de par Kg*cm debido ya que es la medida estandarizada para el torque de los servomotores pequeños.

Para realizar una buena elección del servo/os que necesitamos, debemos cerciorarnos de que se cumpla la siguiente condición, para posicionarnos del lado de la seguridad:

$$M_{servos} \geq M_{total}$$

Por esta razón, se seleccionó el modelo *Futaba 3010*, que posee un torque máximo de 5,2 (Kg*cm). Además, cumplir la condición con un solo servo nos permitía optimizar en gran medida el espacio disponible.

$$M_{Futaba\ 3010} = 5,2(Kg * cm) \geq M_{total} = 4,639(Kg * cm)$$

6.3 MECANISMO RECOGE-TOMATES

El sistema encargado de recoger los tomates será la principal fuente de puntuación del robot. Por la cantidad de tomates que hay repartida en el tablero y por la sencillez en el momento de la recogida respecto a los demás elementos, se convierte en la “hortaliza” más asequible de almacenar. Es el sistema de almacenamiento más imprescindible del robot. Como consecuencia de ello, en este apartado no es necesario realizar un estudio de viabilidad.

En esta sección nos ocuparemos en mayor medida del diseño de los elementos que lo componen, teniendo en cuenta los problemas que han ido surgiendo, desde sus primeros bocetos hasta el prototipo final. Además realizaremos una breve descripción en su forma de actuar para conseguir el objetivo.

6.3.1 EVOLUCIÓN DEL MECANISMO

Desde el primer momento, la idea fundamental consistía en aprovechar la rodadura de las pelotas por la superficie del campo, evitando construir complejos sistemas de recogida para guiarlas hasta el interior del robot. Así, conocidas las dimensiones de la caja destinada al almacenamiento de los tomates (250mm x 100mm x 120mm) se planteó la posibilidad de recoger 3 tomates, dos de ellos en el interior de la caja y el último empujado por los anteriores aprovechando su geometría. Finalmente se desestimó esta opción por ofrecer pocas garantías de éxito. La pelota que no quedaba fija, probablemente escaparía de la trayectoria del robot en alguno de los giros.

Finalmente se decidió que en cada recorrido hacia el depósito, se recogieran dos tomates. Esto nos lo permitía el recorrido del robot, que una vez depositara las dos primeras pelotas, volvería a la zona central para intentar repetir el proceso. Además, para cerciorarnos de que la secuencia se producía de manera correcta, se tomaron ciertas medidas de seguridad que se explicarán a continuación en el apartado “piezas del mecanismo”. Estas medidas consistían en paliar las complicaciones que iban surgiendo cuando se realizaban ensayos prácticos del robot sobre el tablero.

6.3.2 PIEZAS MECANISMO “RECOGE-TOMATES”

En este apartado enumeraremos de los elementos que componen este mecanismo, explicando de manera breve la función que desempeñan cada uno de ellos dentro de todo el conjunto. Para comprender mejor su geometría nos hemos apoyado en imágenes obtenidas de *Solid Edge*.

➤ *Rodamiento pared-pelotas*

Consisten en dos ruedas instaladas y atornilladas en la pared más posterior del almacén de tomates (mirando frontalmente el robot).

La superficie de las pelotas que simulan los tomates está construida con un material plástico, con un alto coeficiente de fricción. El contacto pared-pelota cuando el robot se encuentra en movimiento, puede producir que el tomate no ruede de forma correcta sobre la pared. Esto provocaría fuerzas que se transmitirán a lo largo de la estructura del robot y se traduciría en algún cambio en su trayectoria.

Para evitar este problema se han colocado estos rodamientos que garantizan que la pelota esté rodando constantemente.

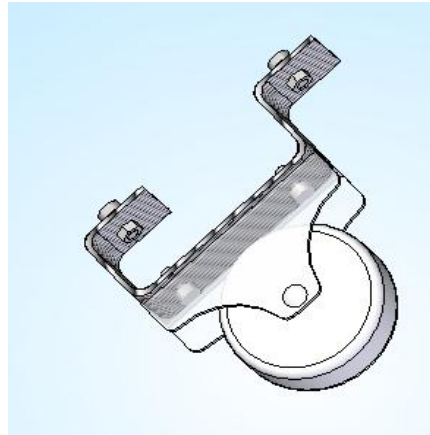


Figura 93. Rodamiento pared- pelotas modelado en Solid Edge

➤ **Palas “recoge-pelotas”**

Consisten en dos planchas de metal, una a cada lado del robot, de forma asimétrica, que actúan a modo de palas para elevar las pelotas y evitar el contacto con el suelo.

Como se ha comentado anteriormente, la idea inicial fue que los tomates rodarán por el tablero sin necesidad de introducir ningún elemento. Sin embargo, finalmente se pensó en su colocación por las mismas causas que el caso anterior. El rozamiento con el suelo suponía un gran problema.

Las palas poseen un rango de giro de 90°, accionadas por dos servomotores respectivamente. Poseen una silueta en forma de “L”. La parte superior se une al servomotor a través de una placa metálica para transmitir el movimiento. La base, parte inferior, posee mayor anchura para asegurar que la pelota no esté en ningún momento en contacto con el suelo. Además las esquinas se han diseñado con un radio de acuerdo y los cantos se han afilado para recoger los tomates con mayor facilidad.

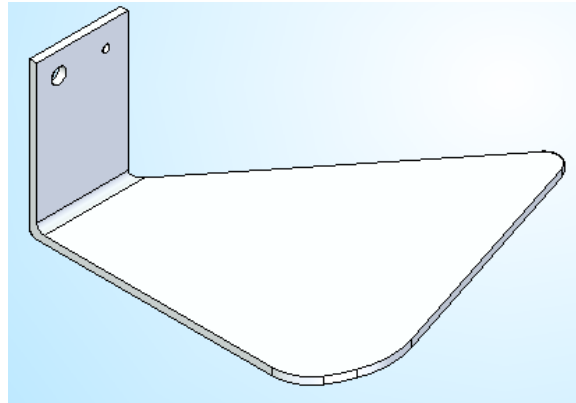


Figura 94. Palas modeladas en Solid Edge

➤ **Barrera de seguridad**

Consiste en un eje en enganchado a la pala, a una altura de 40mm, quedando aproximadamente a la mitad del diámetro de la pelota. Su función es evitar que el tomate se salga del interior del robot en el momento que las palas pasen a la posición de “cierre”.

Además, se ha colocado otro eje hueco, concéntrico al primero y que gira loco respecto de él. Este giro le permite actuar como un rodamiento para facilitar que la pelota continúe rodando en todo momento, y así evitar el deslizamiento. Un deslizamiento podría ocasionar complicaciones en el movimiento como se ha explicado en casos anteriores.

El movimiento relativo longitudinal entre uno y otro está limitado por dos topes, uno a cada lado, como apreciamos en la figura.

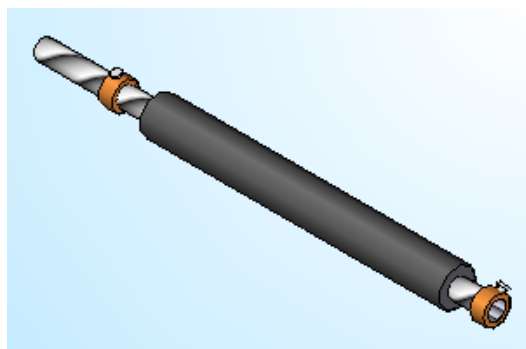


Figura 95. Barreras de seguridad modeladas en Solid Edge

➤ **Servomotores**

Son los accionamientos que dan movimiento a las palas, y les permiten su giro. Se han situado dos, uno a cada lado respectivamente. Están alimentados desde la placa, y controlan la posición de este mecanismo en función de los tomates que haya depositados en el robot en ese momento. Los movimientos o etapas que desarrolla las veremos a continuación en el diagrama de estados de este mecanismo.

En este caso, se han utilizado dos servomotores FUTABA 3003. Están unidos a las palas mediante escuadra metálica con el que ganamos cierto radio de giro, pudiendo barrer un área mayor y facilitar la entrada de los tomates al robot en su recogida.

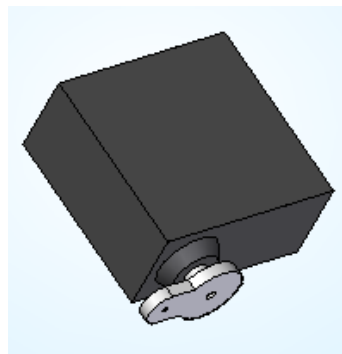


Figura 96. Servo-motor Futaba 3003 modelado en Solid Edge

Finalmente el mecanismo recoge-tomates queda con la siguiente geometría:

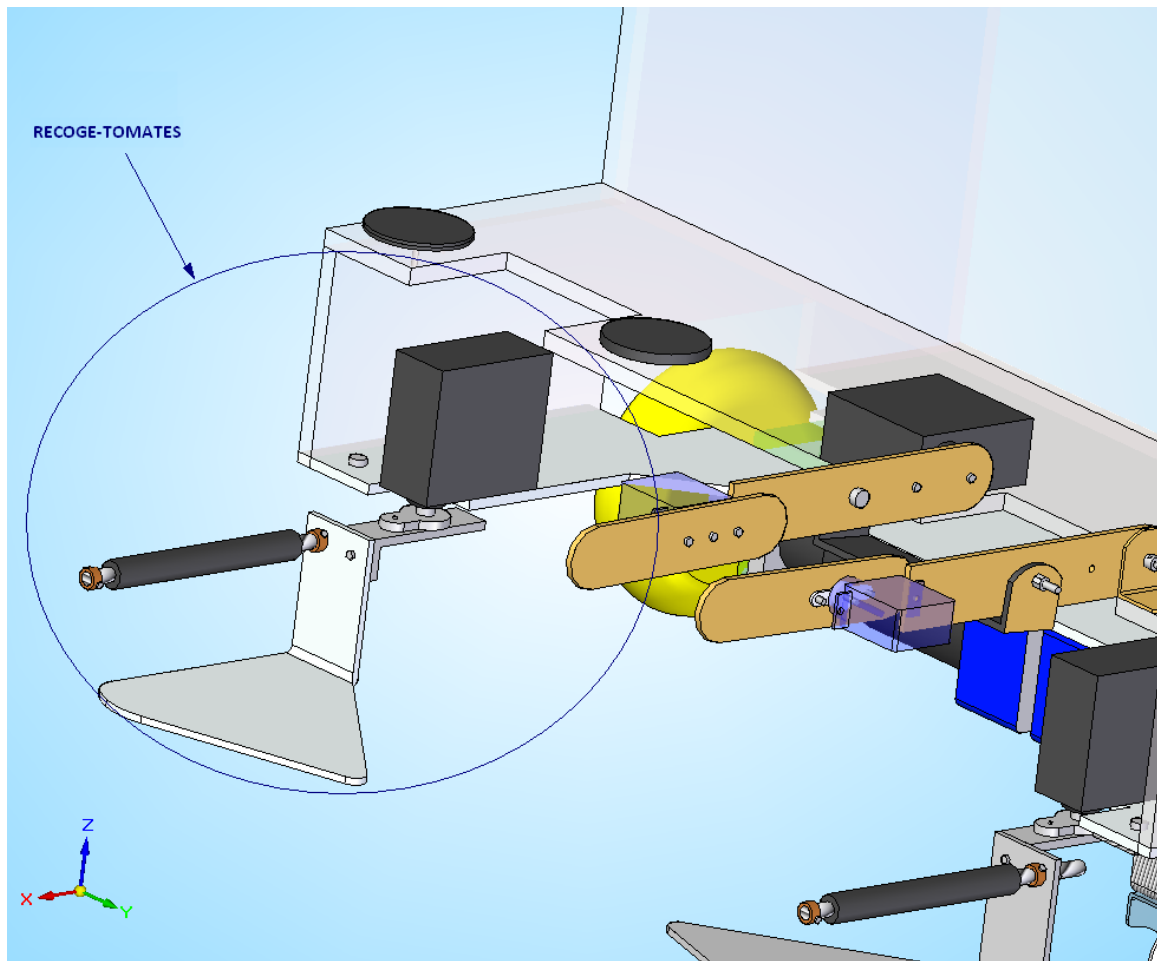


Figura 97. Mecanismo recoge-tomates integrado en el robot

6.3.3 DIAGRAMA DE ESTADOS

En este punto explicaremos el modo de actuación del recoge-tomates, es decir, las diferentes fases o pasos por los que pasará para tener un correcto funcionamiento. En un principio, el sistema tendrá que recoger dos tomates y depositarlos en la portería para cubrir un ciclo de actuación. Sin embargo está preparado para que una vez concluya el primer ciclo, retorne para repetir el proceso.

➤ *Recogida de los tomates*

1. *En el inicio del partido, el robot se encuentra en posición de reposo, con todos sus elementos plegados para no incumplir las normas del concurso.*

2. *Pocos segundos después del arranque, una vez traspasada la rampa, se produce la apertura de las palas hasta un ángulo de 90º.*
3. *A medida que el robot realice el zig-zag entre las mazorcas recogerá dos tomates, no de forma simultánea. Estos se colocarán en la posición óptima para que entren los dos gracias a los rodamientos del fondo.*
4. *Se cerrarán las compuertas para evitar tanto que se introduzcan más pelotas como que se pierdan las ya almacenadas.*

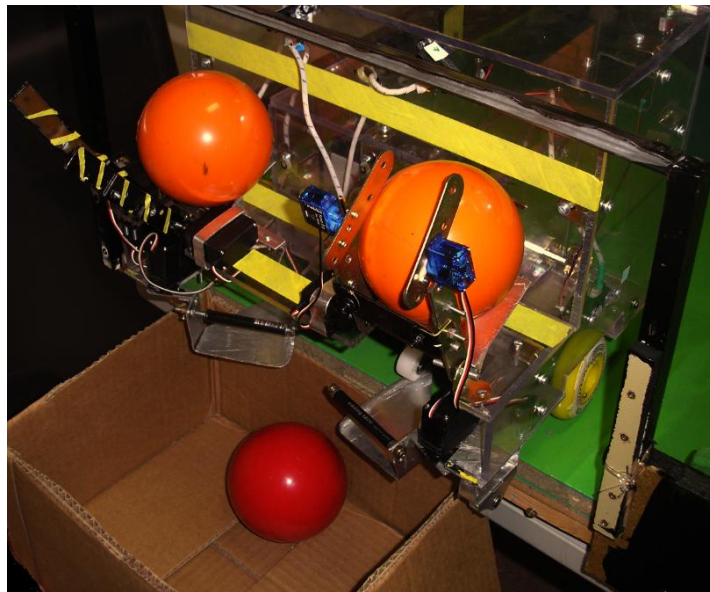


Figura 98. Robot almacenando tomates en el depósito.

➤ **Colocación de tomates en el depósito**

1. *El robot se detienen frente a la portería mediante el contacto de la pared frontal superior con el travesaño de la portería. Esta señal de parada se realiza a través del bumper situado en esta zona, a las dimensiones adecuadas. En el momento de la detención, el sistema recoge-tomates queda completamente en el aire encima de la portería.*
2. *Las palas se abren dejando caer al depósito los tomates recolectados.*
3. *Las palas vuelven a su posición inicial y se pliegan. El robot arranca marcha atrás para intentar repetir el ciclo de recogida de pelotas.*



7. SISTEMA LOCOMOTOR

7.1 SISTEMAS DE TRACCIÓN

El sistema de tracción y el locomotor son los encargados de hacer que el robot sea capaz de desplazarse por el campo de juego. Desde el punto de vista de la tracción la robótica puede clasificarse en dos grandes grupos: los basados en movimiento por actuadores o piernas y los basados en movimiento por rodadura.

Por motivos de complejidad y de eficiencia, nos hemos decantado basado en rodadura ya que es el más sencillo. Pero dentro de este sistema cabe destacar varias posibilidades. Los robots de rodadura pueden clasificarse a su vez en función de su mecanismo de dirección. [23]

➤ *Diferencial*

Es la más sencilla. Consta de dos ruedas motrices y una o varias que giran libremente dotando de estabilidad al robot. No es necesaria ninguna rueda directriz. Con esta configuración los giros se consiguen girando ambas ruedas a distintas velocidades. Incluso se pueden realizar giros de radio cero. A esta categoría pertenecen los robots con tracción de oruga. [23]

➤ *Triciclo*

Parecida a la tracción diferencial pero sustituyendo la rueda libre por una rueda directriz, o concentrando las funciones motriz y directriz en la rueda delantera. Es muy fácil de implementar y controlar, pero es algo inestable. [23]

➤ *Ackerman*

Posee dos ruedas motrices y otras dos directrices. Su principal característica es que cuando el robot gira las circunferencias que trazan las dos ruedas directrices tienen el mismo centro. Esta configuración es energéticamente muy eficiente y permite giros a altas velocidades. Es la dirección utilizada en los automóviles. [23]

➤ *Síncrona*

Todas las ruedas giran simultáneamente sobre sí mismas y apuntan en la misma dirección. Con esta configuración se desacoplan los giros y los desplazamientos, a costa de velocidades bajas y una cuidadosa calibración. [23]

7.2 CONFIGURACIÓN

Finalmente, se optó por dotar al robot con una configuración diferencial debido a la gran maniobrabilidad, sencillez y coste que posee esta configuración, proporcionando de esta manera un sistema de desplazamiento flexible y preciso, capaz de trasladar al robot por el terreno de juego sin dificultad, además de efectuar giros rápidos y precisos.

Para ello se instalaron dos motores fijados a cada rueda respectivamente, a modo de semi-ejes de dirección de un vehículo convencional. De esta forma podemos controlar la velocidad de cada una de ellas de manera independiente. Así, el robot podrá moverse hacia adelante o hacia atrás cuando las ruedas giren en el mismo sentido con la misma velocidad. Para realizar giros es necesario que las ruedas giren a velocidades diferentes, y cuando la velocidad de giro es igual pero de sentido opuesto el robot gira sobre sí mismo. Esta habilidad es especialmente útil si el robot necesita moverse en espacios reducidos o laberintos.

Sin embargo, para garantizar un correcto funcionamiento de este sistema, las ruedas motrices requieren apoyos adicionales proporcionados formando un diseño romboidal o triangular. Generalmente estos apoyos se realizan con “ruedas locas”, con lo que conseguimos que el robot no se balance si el robot tiene una distribución de pesos adecuada. El diseño triangular depende en gran medida de la distribución de pesos, ya que en el robot puede cabecear si no se calcula de forma apropiada. El diseño romboidal por su parte puede provocar una inadaptación al terreno, si este tiene irregularidades o cambios de nivel, ya que puede ocurrir que no se produzca contacto entre el suelo y la rueda, impidiendo el movimiento del robot.

En el caso de *Fluzo*, optamos por un diseño romboidal para garantizar en todo momento un correcto apoyo con el suelo, anulando el posible cabeceo. Además las condiciones del tablero (plano prácticamente en toda su superficie), nos ayudaba a ello.

Entre las desventajas de esta configuración encontramos la necesidad de un control de precisión en las trayectorias rectas, ya que es complicado realizar desplazamientos completamente rectos. Además el cambio de diámetro de las ruedas distorsiona el control de dirección del robot.

7.3 PIEZAS DEL SISTEMA DE TRACCIÓN

El eje motor se colocó en el centro de la plataforma, de forma que el comportamiento del robot fuese lo más simétrico posible a la hora de efectuar giros en ambos sentidos y cambios de dirección. Además se colocaron varias ruedas libres para dar estabilidad al conjunto resultante, y evitar cabeceos o balanceos del robot al realizar frenadas o cambios de sentido de giro.

➤ **Motores**

Una vez determinada la configuración motriz a utilizar, se procede a la elección de unos motores adecuados a estas necesidades. Los motores deberán elegirse de forma que tendrán que proporcionar la fuerza necesaria para mover el robot por el terreno de juego ofreciendo tanto un par como una velocidad adecuadas y suficientes manteniendo unos niveles de consumo de energía aceptables (debemos tener en cuenta que hay que mover un peso aproximado de 5 Kg.), y con un coste que se adapte perfectamente al presupuesto.

El motor escogido es un motor de corriente continua Bernio modelo MR 615 30 Q con reductora 1/16. Esta combinación de motor + reductora nos ofrece unas características de par y velocidad más que aceptables para las necesidades del proyecto. Además debido a la reductora, conseguimos disminuir la velocidad de salida y consecuentemente un consumo de energía inferior, y con un coste que se amolda perfectamente al presupuesto.

Como en todos los motores de corriente continua, la dirección de giro se controla mediante la polaridad de sus terminales, de manera que si invertimos esta el sentido de giro también se invierte. La velocidad en este tipo de motores viene determinada directamente por el nivel de tensión aplicado en sus terminales, de manera que cuanto mayor sea el voltaje aplicado mayor será la velocidad de giro.

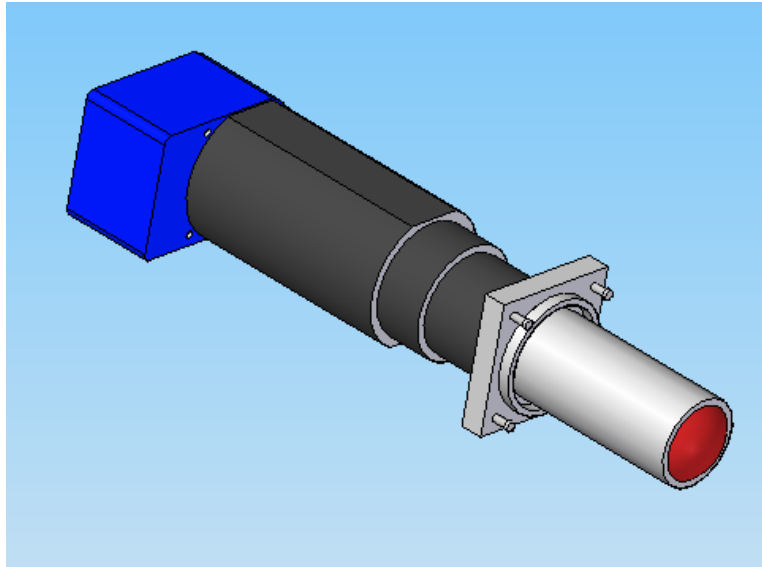


Figura 99. Motor MR615 30Q con reductora diseñado en Solid Edge.

➤ **Ruedas**

Las ruedas son los elementos encargados de transmitir la tracción de los motores al suelo, haciendo que el robot se mueva, y de permitir el correcto apoyo en el terreno de juego. De este modo podemos diferenciar dos tipos de ruedas (como se explicó en el Capítulo “Estructura”): las ruedas motrices, que transmiten el movimiento de los motores, y las ruedas locas o libres, que nos permiten mejorar el apoyo y el reparto de pesos.

En primer lugar, la elección de las ruedas motrices afecta al par y la velocidad que se obtienen de los motores y al agarre. El par y la velocidad se ven afectados por el radio de las ruedas, ya que un radio demasiado grande provoca que la velocidad sea mayor pero reduce mucho el par. En cuanto a la adherencia, dependía del material de la cubierta de la rueda, con lo que se necesitaba un tipo de rueda que nos asegurara un agarre correcto en superficies lisas o ligeramente rugosas, ya que el terreno de juego estaría pintado con pintura plástica. En otros encuentros de *EUROBOT* se observó que las ruedas diseñadas para el uso en patines aportaban una adherencia muy buena sobre cualquier superficie, y además poseen un radio aceptable para nuestras necesidades.

Se utilizaron unas ruedas modelo “HYPER HOCKEY PRO 250”. Para poder anclar las ruedas al eje del motor se fabricaron sendos casquillos de aluminio, los cuales, se atornillan a las ruedas con dos tornillos de métrica 3 y al eje del motor con un tornillo

de métrica 4. Esto permitía una buena sujeción y una forma sencilla de cambiar las ruedas.

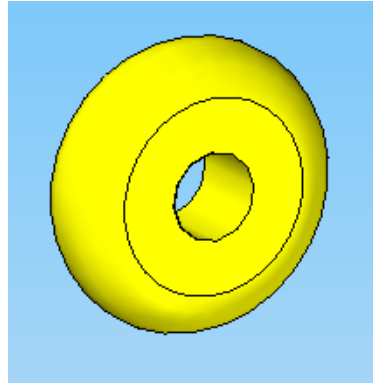


Figura 100. Rueda Hyper Hockey Pro 250 diseñada en Solid Edge

Finalmente el conjunto motor-rueda quedó configurado de la forma que se aprecia en la figura siguiente. Su unión se realizó haciendo un taladrado central en la rueda, que coincidiera con el eje diseñado para el motor. Así, quedan perfectamente acoplados sin ningún tipo de holgura. El apriete se consigue mediante presión aprovechando el gran rozamiento del material de la cubierta de la rueda.

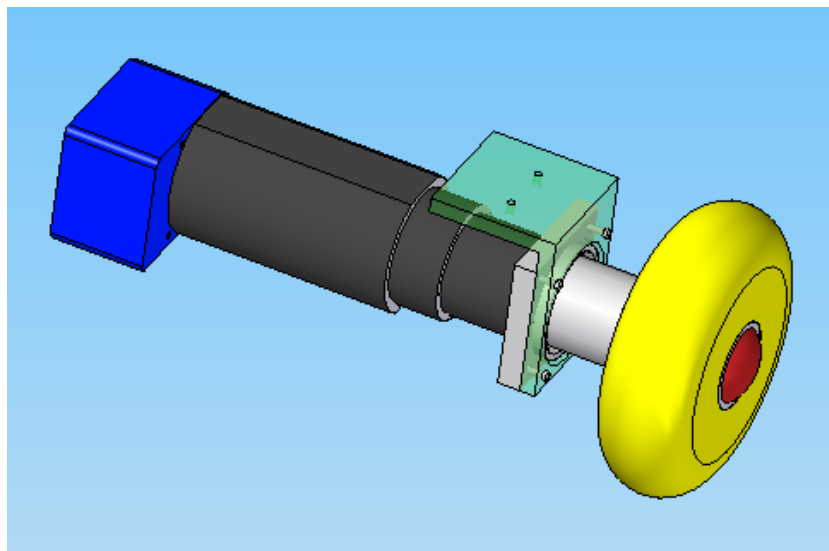


Figura 101. Conjunto motor-rueda diseñado en Solid Edge

Por su parte, las ruedas locas que se utilizaron fueron de dos tipos: una de tipo bola y dos de tipos castor. La rueda de tipo bola es de tipo comercial, fabricada en aluminio con 30 mm de radio y 20 mm de altura. Se colocó en la parte central de la base y soportaba el mayor peso del robot. Las ruedas de tipo castor se colocaron en los vértices posteriores del robot, con lo que evitábamos que el robot se balancease en los arranques, como se explicará en el apartado siguiente. En la siguiente figura podemos observar cómo queda la distribución del sistema locomotor, incluyendo ruedas y motores.

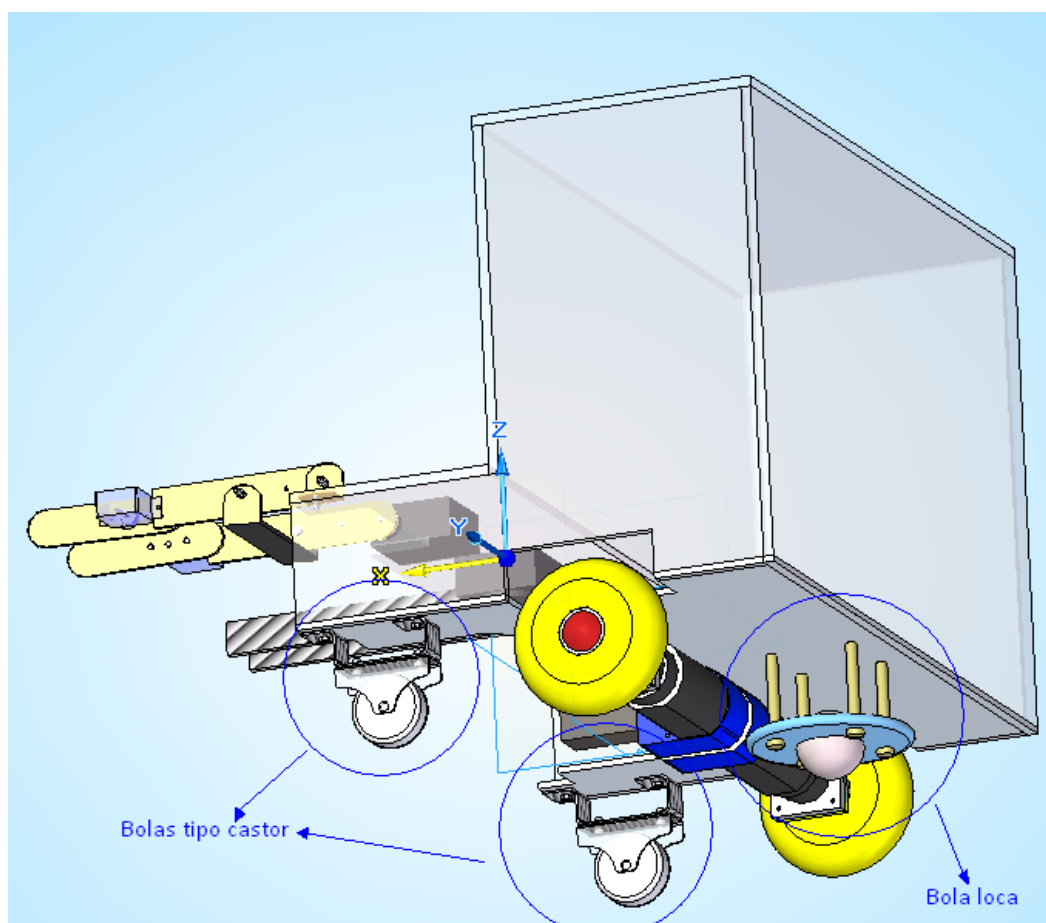


Figura 102. Distribución y tipos de bolas locas

7.4 REPARTO DE PESOS

Un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de configurar el sistema locomotor de un robot es el reparto de pesos. Este consiste en la adecuada situación de las ruedas (tanto motrices como locas) y de los elementos internos del robot para que los movimientos sean deseados.

Ya hemos observado cómo se encuentran distribuidas las ruedas en el robot. Además de ser las encargadas del movimiento del robot, también desempeñan funciones de sustentación. Son los apoyos donde se transmite todo el peso del robot, y deben contrarrestarlo. [2]

Para comprender esto de mejor manera, se ha realizado un pequeño estudio sobre la distribución de los pesos cuando el robot está totalmente cargado, caso más crítico que tendrán que aguantar estos apoyos.

Los componentes del robot que más masa tienen son la batería, los motores y las pelotas naranjas que sea capaz de recoger Fluzo. Las pelotas rojas no tendrán ningún efecto sobre el peso ya que siempre irán rodando por el suelo. El resto de componentes (placas electrónicas, servomotores, sensores...) tiene una masa de un orden muy inferior a los tres anteriores, por lo que se han obviado para este estudio.

Por tanto los tres componentes citados anteriormente formarán prácticamente el peso total del robot:

➤ <i>Batería</i>	<i>1.5 Kg</i>	<i>-----</i>	<i>15 N</i>
➤ <i>Motor (x2)</i>	<i>0.750Kg</i>	<i>-----</i>	<i>7.5 N</i>
➤ <i>Pelotas naranjas (x2)</i>	<i>0.300Kg</i>	<i>-----</i>	<i>3 N</i>

Para este estudio hemos utilizado un programa informático de elementos finitos llamado ABAQUS, donde podemos introducir las cargas de nuestro robot, los apoyos que crearán las condiciones de contorno, las características mecánicas del material con el que trabajamos... El estudio está realizado sobre la base del robot, pieza donde se apoyarán el resto de componentes y encargada de soportar los diferentes pesos:

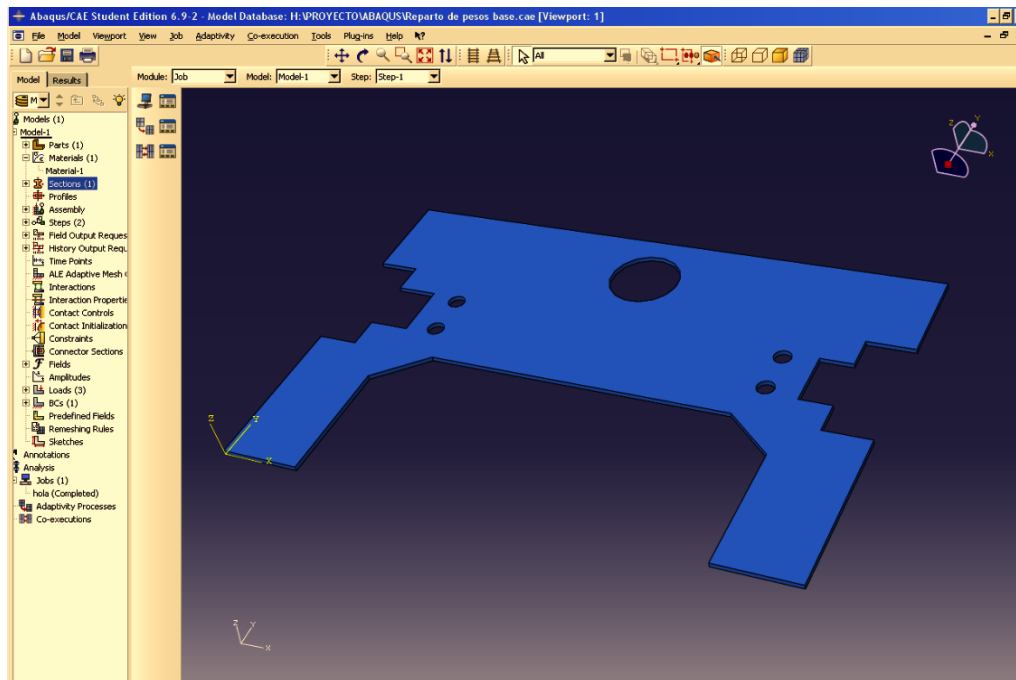


Figura 103. Interfaz programa Abaqus

En un principio, las únicas ruedas que formaría el robot serían las dos ruedas motrices de los laterales y la rueda loca en la parte central trasera. De esta forma, introduciendo todas las condiciones de carga y las restricciones correspondientes, hemos obtenido los siguientes resultados:

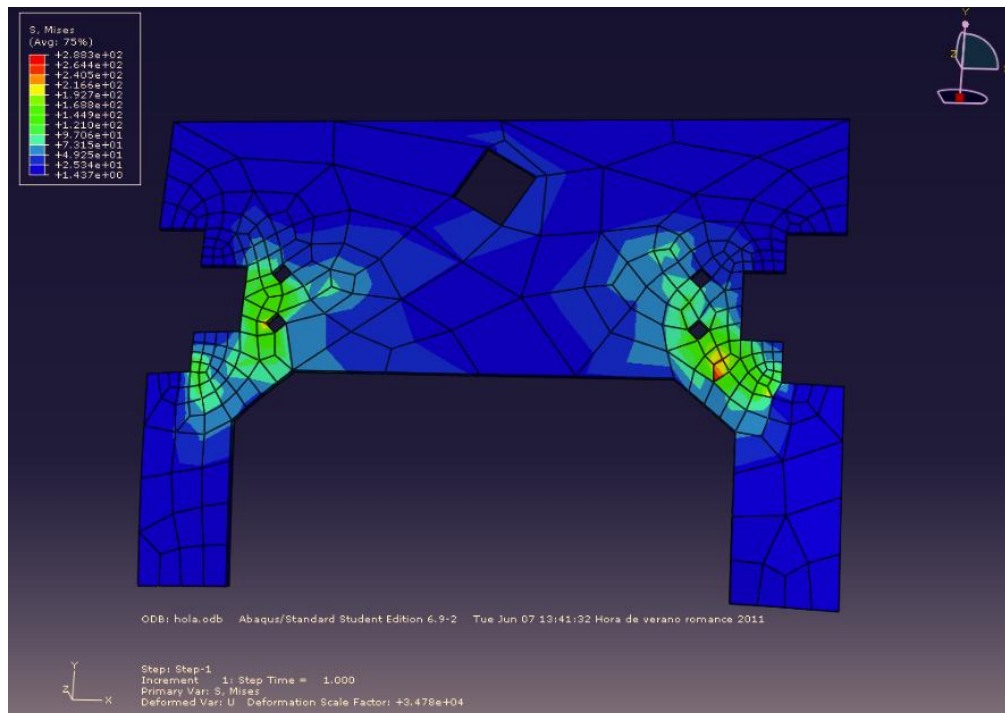


Figura 104. Distribución de pesos sin ruedas locas delanteras

Como observamos en la imagen, la batería no causa apenas esfuerzos porque es situada justo encima de la bola, consiguiendo además que esta se pegue bien al suelo para conseguir una mejor tracción. Sin embargo, los valores más críticos se obtendrán en las partes más próximas a las ruedas motrices. Están muy concentrados en estas secciones porque las uniones (tornillos) tienen que absorber el peso de los motores. Además, como apreciamos en la siguiente figura, tenemos el riesgo de que las "palas delanteras de la base deformarán verticalmente:

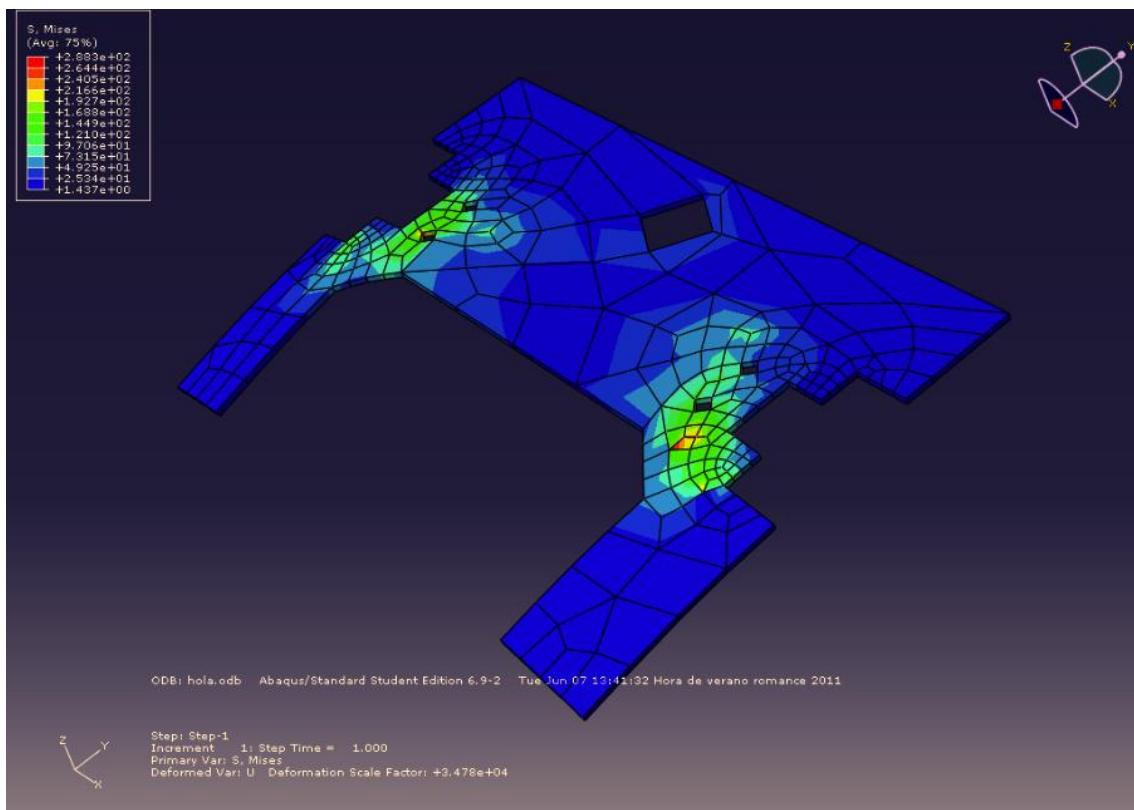


Figura 105. Vista lateral distribucion de pesos sn ruedas locas delanteras.

Para solucionar estos problemas finalmente se instalaron dos ruedas locas, una en cada una de las "palas" respectivamente. Así, se evita el problema del desplazamiento vertical y conseguimos un reparto más uniforme de pesos entre los apoyos. En la siguiente figura podemos observar este aspecto. Los pesos están más repartidos y además el valor máximo local de tensión disminuye. En la figura observamos la base muy deformada, aunque simplemente es de cara a su visualización, ya que los desplazamientos verticales que se producen son del orden de 10^{-5} mm.

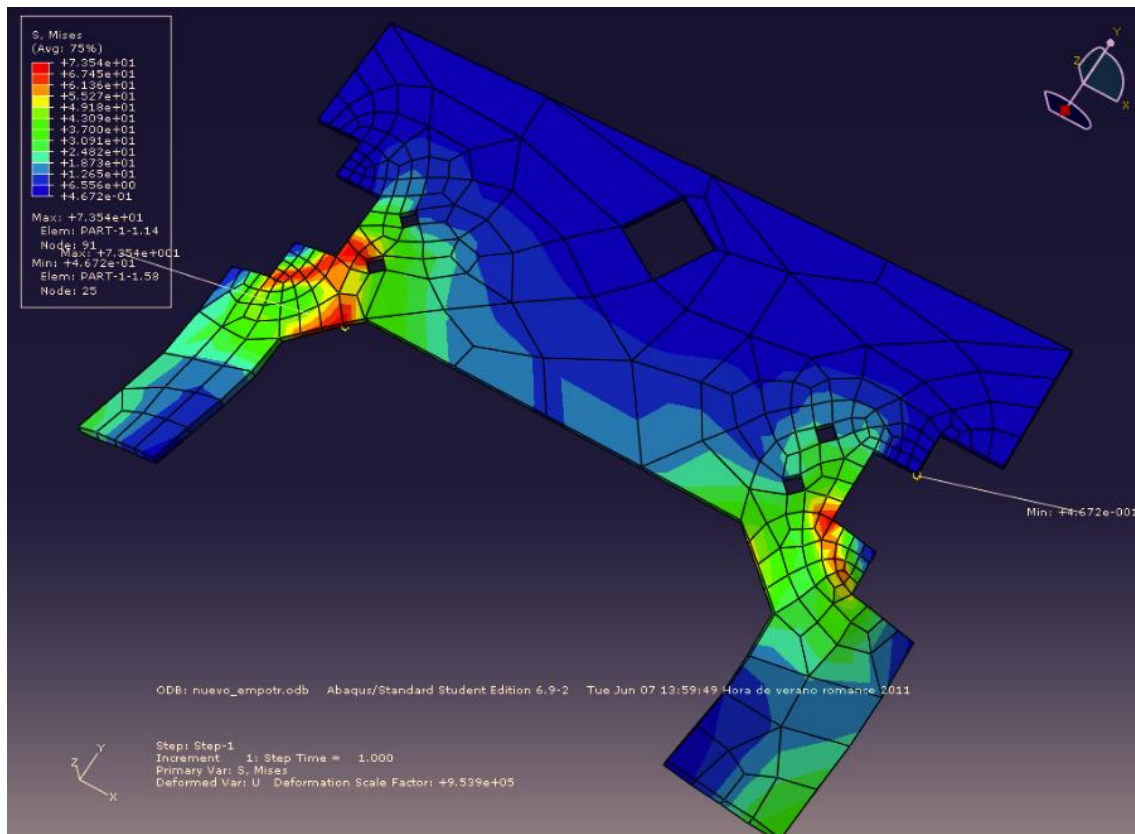


Figura 106. Distribución de pesos total del robot

- Valor máximo de tensión = $7.354 \cdot 10^1 \text{ N/mm}^2$
- Desplazamiento máximo = $3.452 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$

De esta manera, también podemos corroborar que el material seleccionado de la base no va a romper ni a doblarse, ya que la tensión máxima de rotura del aluminio es de $120\text{-}140 \text{ N/mm}^2$ (ver capítulo 5. "Estructura").



8. CONCLUSIONES

8.1 CONCLUSIONES

Ya son varios años que la Universidad Carlos III, y más concretamente el Laboratorio de Sistemas Inteligentes, ofrece la posibilidad de diseñar y construir un robot con el objetivo de participar en alguna competición de robótica, tanto a nivel nacional como internacional.

Gracias a estos certámenes se ha observado los aspectos en los que nuestros robots fallaban, o en los que se podía mejorar. La clasificación en el concurso de España siempre ha sido buena, lo que permitía obtener plaza para la competición europea. Sin embargo, es aquí donde las diferencias eran notables entre unos robots y otros, especialmente comparados con los franceses o alemanes, que presentan máquinas con sistemas muy sofisticados.

Este año el concurso español se celebró como de costumbre en la Universidad de Alcalá de Henares. Flux Capacitor consiguió alzarse con la tercera plaza, que otorgaba el pase para la competición EUROBOT. El jurado propuso formar una candidatura conjunta compuesta por alumnos de la universidad Carlos III y de Alcalá. El concurso de esta edición tuvo lugar en Suiza, concretamente en la ciudad de *Rapperswill-Jona*.



Figura 107. Rapperswill-Jona, Zurich (Suiza)

Como se ha comentado en capítulos anteriores, se ha trabajado en la búsqueda de una estrategia sencilla y eficaz que nos diera la seguridad de conseguir algunos puntos en todos los partidos. Finalmente, se ha construido un robot fiable y, sobre todo, regular en la consecución de puntos. Esta idea surgió de experiencias previas en otros concursos, observando que muchos de los robots participantes, por diferentes problemas electrónicos o mecánicos, no conseguían arrancar, dejando su marcador a cero. Por tanto, conseguir puntos en prácticamente la mayoría de los partidos, te garantizaba un buen porcentaje de victorias, traducido en una buena clasificación.

Entrando en profundidad en los sistemas de *Fluzo*, las conclusiones han sido en líneas generales positivas:

- En primer lugar, a pesar de que el camino hacia la cesta de esta edición del EUROBOT era complicado, se ha conseguido pensar y desarrollar una estrategia relativamente sencilla, permitiendo encontrar en el camino muchos objetos susceptibles de ser recogidos.
- Respecto a la estructura, se han cumplido de forma rigurosa todas las limitaciones tanto geométricas como de carga, adaptando todos los sistemas en un robot compacto y sencillo con una estructura robusta tanto en sus paredes como su base. Se han construido diferentes mecanismos independientes, para que no se entorpeciesen entre ellos. Además un aspecto muy destacable ha sido la accesibilidad a éstos, ya que en caso de modificación o recambio de piezas la maniobrabilidad dentro del robot no era complicada.
- Respecto al sistema de locomoción, la elección de las ruedas motrices ha dado los resultados esperados. Debido al material del que están fabricadas, permitían un correcto agarre con el campo de juego (sin producir deslizamientos), y de esta manera seguir la trayectoria programada de forma correcta. Sin embargo, cabe destacar que existieron algunos problemas con la locomoción principalmente por dos motivos:
 - El traqueteo al que eran sometidos tanto las ruedas como los motores debido al gran número de ensayos, producía vibraciones que desalineaban los motores provocando desviaciones en la trayectoria. Este aspecto se notaba cuando el robot tenía que seguir un camino recto, ya que las ruedas, por pequeña que fuera esta desalineación de los motores, no seguían la misma dirección y el robot se iba desplazando a la izquierda o a la derecha. La solución era una nueva alineación de los motores, o un apriete de la tornillería y las uniones periódicamente.

- Regular la altura de las bolas locas, para que quedarán al mismo nivel que las motrices, ya que estas eran más cortas. Este aspecto se solucionó con alzadores roscados, que nos permitían situar dichas bolas a la altura elegida.
- Respecto al sistema de recogida, el mayor escollo que nos encontramos era el rozamiento que se producía entre las pelotas rojas y el suelo o el contacto pelotas rojas-robot. En el primer caso, la solución fue incorporar unas palas con una forma definida y cantos muy acabados, para que levantarán la pelota cuando se cerrase el sistema, evitando el contacto con el suelo. En el segundo caso, se instalaron rodamientos para que la pelota tuviera una rodadura constante.

Otro aspecto destacable, es que los servos elegidos han dado los resultados esperados, especialmente el encargado de levantar el recoge-naranjas (*Futaba 3010*), caso más crítico desde el punto de vista de las cargas.

8.2 PROYECTOS FUTUROS

A continuación vamos a mencionar brevemente algunas de las mejoras que por distintos motivos no han podido aplicarse, pero que sería recomendable estudiar su diseño en un futuro:

1. Diseño y construcción de sistema de tracción reutilizable

Referente a las dimensiones, la normativa aplicada en el concurso EUROBOT no varía de año a año. Por esta razón se podría realizar una base que se puede reutilizar y mejorar. Así, se podría crear un sistema de locomoción más fiable y de mayor control de sus movimientos. Ejemplos podrían ser un sistema de “*omni wheels*”. Entre sus ventajas destacamos:

- Mayor facilidad para controlar los desplazamientos (giros, quiebros...)
- Permitir movimientos complicados

Sin embargo estos sistemas también presentan inconvenientes:

- El movimiento en línea recta no está garantizado por restricciones mecánicas.
- Implementación complicada

Otra opción podría ser una base traccionada mediante cintas de deslizamiento.

2. Sistema de recogida mediante brazo mecánico hidráulico

Un brazo mecánico accionado hidráulicamente permitiría mayor control, y por tanto, mayor seguridad para recoger los diferentes elementos puntuables del campo. Sus ventajas más destacables son:

- Mayor posibilidad de movimientos, sin tantas coacciones en comparación con los servo-motores.
- Movimientos más fiables y seguros
- Mayor fuerza y capacidad de trabajo, siendo constante en todo su recorrido, sin producir picos de carga o "tirones".

Entre sus inconvenientes destacamos principalmente:

- Importante incremento de costes, tanto material como personal.



9. PRESUPUESTO

En el siguiente apartado, se realizará un desglose del presupuesto del proyecto, detallando los costes derivados de su construcción y puesta en marcha:

9.1 COSTES MATERIAL

➤ ESTRUCTURA

ESTRUCTURA			
Unidades	Descripción	Coste unitario (€)	Subtotal (€)
1	Plancha de Aluminio de 1 m ² , espesor 1,5mm2	75	75
2	Laminas de policarbonato de 1m ²	80	160
24	Escuadras de acero inoxidable	0,15	3,6
50	Tornillería M6 x 1	0,06	3
10	Planchas metálicas 10x3 cm	0,3	3
-	Otros materiales de ferretería	30	30
TOTAL			274,60 €

Tabla 13. Costes de la estructura

➤ ACTUADORES

ACTUADORES (SISTEMA DE RECOGIDA)			
Unidades	Descripción	Coste unitario (€)	Subtotal (€)
5	Servo FUTBA S3003	12	60
1	Servo FUTBA S3010	23,5	23,5
2	Nano-Servo ROBBE 8544	7,60	15,20
-			
TOTAL			98,70 €

Tabla 14. Costes de los actuadores

➤ **SENSORES**

SENSORES			
Unidades	Descripción	Coste unitario (€)	Subtotal (€)
10	Sensor infrarrojo Sharp GP2D12	15	150
4	Sensor tipo final de carrera (<i>bumper</i>)	1,20	4,80
TOTAL			154,80 €

Tabla 15. Costes de los sensores

➤ **SISTEMA LOCOMOTOR**

SISTEMA LOCOMOTOR			
Unidades	Descripción	Coste unitario (€)	Subtotal (€)
2	Motor encoder Bernio MR 615 30 Q con reductora 1/16	178	356
2	Ruedas HYPER HOCKEY PRO 250	4,50	9
3	Ruedas locas	4	12
2	Soportes y casquillos	35	70
TOTAL			447,00 €

Tabla 16. Costes del sistema locomotor

➤ **ELECTRÓNICA**

ELECTRONICA			
Unidades	Descripción	Coste unitario (€)	Subtotal (€)
4	Placa de circuito impreso	100	400
1	Single board Computer (placa Linux)	300	300
3	Batería	31	93
1	Bobina cables de conexionado (0,5 mm ²)	45	45
-	Componentes electrónicos	-	45



TOTAL	883,00 €

Tabla 17. Costes de la electrónica

➤ **CAMPO DE PRUEBAS**

CAMPO DE PRUEBAS			
Unidades	Descripción	Coste unitario (€)	Subtotal (€)
1	Tablero	510	510
10	Listones de madera	2	20
-	Material de ferretería	-	30
4	Pintura (RAL 6018, RAL 1013, RAL 5005, RAL1023)	11	44
6	Pelota malabares roja (150 grs.)	6	36
2	Pelota malabares naranja (300 grs.)	9	18
TOTAL			640,00 €

Tabla 18. Costes del campo de pruebas

TOTAL COSTE MATERIAL	2.498,10 €
-----------------------------	-------------------

9.2 COSTES DE PERSONAL

COSTES DE PERSONAL			
Descripción	Sueldo mensual (€)	Meses	Subtotal (€)
Ingeniero Técnico Industrial: electrónica	1.800 €	9	16.200 €
Ingeniero Técnico Industrial: mecánica	1.800 €	9	16.200 €
Ingeniero Informático	1.700 €	9	15.300 €
TOTAL COSTE PERSONAL			47.700,00 €

Tabla 19. Costes de personal

9.3 PRESUPUESTO FINAL

Finalmente, sumando los importes de los totales de cada uno de los apartados estudiados obtenemos que el coste final de todo el proyecto asciende a:

PRESUPUESTO FINAL	
Concepto	Total
Coste de material	2.498,10 €
Coste de personal	47.700,00 €
TOTAL	50.198,10 €

Tabla 20. Presupuesto final del proyecto



10. BIBLIOGRAFÍA

10.1 RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS

- [1] **“INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA: PRINCIPIOS TÉCNICOS, CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN DE UN ROBOT”;**
Angulo Martínez, Ignacio y Angulo Usategui, José María Romero Yesa;
THOMSON PARANINFO
- [2] **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICROROBOT, EUROBOT 2008”;**
Pablo Escribano García;
Universidad Carlos III de Madrid.
- [3] **“FUNDAMENTOS DE LA ROBÓTICA”,**
Antonio Barrientos;
S.A. MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA
- [4] **“Normativa concurso EUROBOT 2010: *Feed the world*”.**
- [5] **“Diccionario de la Real Academia Española”**
- [6] **“MANUAL DEL ALUMINO” ;**
W. Hufnagel; Editorial Reverté S.A

10.2 RECURSOS ELECTRÓNICOS

- [7] <http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/r166/r63/r63.htm>
- [8] <http://j.orellana.free.fr/textos/robot.htm>
- [9] <http://revistas.ucm.es/fll/15781763/articulos/ESLC0202110211A.PDF>
- [10] <http://www.actasurológicas.info/v31/n02/pdf/3102OR01.pdf>
- [11] <http://www.tecnologiaparatodos.org/robotica4.php>
- [12] <http://www.scribd.com/doc/12687023/Clasificacion-de-Los-Robots>
- [13] <http://mandobots.jimdo.com/clasificaci%C3%B3n-de-los-robots/>

- [14] <http://www.monografias.com/trabajos6/larobo/larobo.shtml#clasi>
- [15] <http://www.plasticosferplast.com/files/producto/pmma.pdf>
- [16] <http://www.roboticspot.com/spot/artic.shtml?newspage=robotsindustriales>
- [17] <http://pslc.ws/spanish/mech.htm>
- [18] http://www.construmatica.com/construpedia/Propiedades_del_Aluminio
- [19] <http://www.elektrisola.com/es/materiales-conductores/comparacion-de-metales.html>
- [20] <http://proton.ucting.udq.mx/materias/robotica/r166/r66/r66.htm>
- [21] http://www.plm.automation.siemens.com/es_es/products/velocity/solidedge/demos.shtml
- [22] <http://www.futaba-rc.com/servos/brushless.html>
- [23] <http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXIX/pdf/272.pdf>